



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MALÁ TESTOVACÍ TEPLOTNÍ KOMORA

SMALL TEMPERATURE TEST CHAMBER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ROBERT WOLFSHÖRNDL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Robert Wolfshörndl

ID: 98565

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Malá testovací teplotní komora

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proved'te studii řešení malé testovací teplotní komory o objemu asi 5 l s využitím Peltierových článků. Uvažujte regulaci s mikroprocesorovou jednotkou s možností uživatelského programování testovacích cyklů. Navrhněte schéma zapojení elektronické regulace vytápění/chlazení testovací komory. Pro měření teploty využijte vhodně rozmístěná teplotní čidla a efektivní cirkulaci vzduchu pomocí ventilátorů. Navrhněte ovládací panel komory. Navrhněte desky plošných spojů systému. Desky plošných spojů osad'te a systém ožijte. Sestavte řídicí firmware mikrokontroléru a aplikační program pro řízení testovacího procesu na PC. Ověřte funkčnost komory. Vytvořte návod k obsluze komory.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KRIEDL, M. Měření teploty - senzory a měřicí obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem malé testovací teplotní komory. V první části práce je provedena studie senzorů teploty vhodných k realizaci teplotní komory. Závěr této kapitoly je věnován digitálnímu čidlu teploty DS18B20. Druhá kapitola se věnuje principu a základním parametrům Peltierových článků. V třetí části práce je proveden návrh jednotlivých elektronických částí teplotní komory (obvodová zapojení a desky plošných spojů), včetně popisu základních rysů firmwaru pro mikrokontrolér. Čtvrtá kapitola je věnována popisu základních vlastností aplikačního programu a popisu komunikačního protokolu. Poslední dvě části se věnují konstrukci teplotní komory a výsledkům závěrečné funkční zkoušky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Teplotní komora, DS18B20, Peltier, ATmega16, komunikační protokol.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of a small temperature test chamber. The first chapter is a study of temperature sensors suitable for realization of temperature chambers. The conclusion of this chapter is devoted to digital temperature sensor DS18B20. The second chapter deals with the principles and basic parameters of Peltier cells. In the third chapter design of individual electronic components of the temperature chamber is realized (circuit diagrams and PCBs), including a description of basic features of the microcontroller firmware. The fourth chapter is devoted to a description of the basic properties of the application software and a description of the communication protocol. The last two chapters deal with the construction of the temperature chamber and the results of final functional test.

KEYWORDS

Temperature chamber, DS18B20, Peltier, ATmega16, communication protocol.

WOLFSHÖRNDL, R. *Malá testovací teplotní komora*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 47 s., 20 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Malá testovací teplotní komora jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. ing. Jiří Šebesta, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
1 SENZORY TEPLoty	2
1.1 Polovodičové odporové senzory teploty	2
1.1.1 Termistory	2
1.1.2 Monokrystalické odporové senzory	2
1.2 Monolitické PN senzory teploty	3
1.2.1 Diodové PN senzory teploty	3
1.2.2 Tranzistorové PN senzory teploty	3
1.2.3 Monolitické (integrované) PN senzory teploty	4
1.2.4 Dallas DS18B20	4
2 PELTIERŮV ČLÁNEK	6
2.1 Matematický popis Peltierových baterií	7
2.2 Volba Peltierových baterií	9
3 ČÁSTI TEPELNÉ KOMORY	10
3.1 Ovládací / signalizační panel	10
3.1.1 Rotační mechanický snímač polohy	11
3.1.2 LCD displej CM 0820-STN-LY	12
3.1.3 Posuvný registr 74HC164	12
3.2 Senzory teploty, ventilátory	13
3.3 Peltierovy články, chladič, ventilátory	13
3.4 Převodník RS232 na TCP/IP	16
3.4.1 XPort Lantronix	16
3.4.2 Napájení XPortu	17
3.5 Mikrokontrolér AVR Atmel	19
3.5.1 Základní vlastnosti ATmega16	19
3.5.2 Rozhraní TWI a obvod reálného času	20
3.5.3 Rozhraní USART	21
3.5.4 PWM	21

3.5.5	Rozhraní SPI	21
3.5.6	Napájení mikrokontroléru	21
3.6	Řídící firmaware mikrokontroléru	22
3.6.1	Základní rysy firmware mikrokontroléru	23
3.6.2	Základní nastavení mikrokontroléru	24
3.6.3	Základní funkce firmware mikrokontroléru	25
4	Aplikační program	27
4.1	Hlavní rysy aplikačního programu	27
4.2	Popis komunikačního protokolu	28
5	KONSTRUKCE TEPLOTNÍ KOMORY	37
6	FUNKČNÍ ZKOUŠKA KOMORY	41
7	ZÁVĚR	43
	Literatura	44
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	47
	Seznam příloh	48

Seznam obrázků

Obr. 1.1:	Možná provedení senzoru DS18B20 (převzato z [3]).	4
Obr. 1.2:	Vnitřní blokové schéma obvodu DS18B20 (převzato z [3]).	5
Obr. 1.3:	Příklad zapojení senzoru DS18B20 s využitím externího napájení.	5
Obr. 2.1:	Principiální zapojení Peltierova článku (převzato z [4]).	6
Obr. 3.1:	Blokové schéma zapojení tepelné komory.	10
Obr. 3.2:	Zapojení snímače polohy a tlačítek.	10
Obr. 3.3:	Připojení LCD displeje k mikrokontroléru.	11
Obr. 3.4:	Typické zapojení rotačního mechanického snímače polohy a časové průběhy výstupních signálů (převzato z [5]).	11
Obr. 3.5:	Detail připojení LCD displeje.	12
Obr. 3.6:	Principiální zapojení H-můstku.	14
Obr. 3.7:	Připojení Xportu k mikrokontroléru.	16
Obr. 3.8:	Stanovení hodnoty výstupní tlumivky DC/DC měniče (převzato z [8]).	18
Obr. 3.9:	DC/DC měnič pro napájení X-portu.	18
Obr. 3.10:	Jednotlivá pouzdra procesoru ATmega16 (převzato z [7]).	20
Obr. 3.11:	Typické zapojení obvodu PCF8583P.	20
Obr. 3.12:	Zapojení konektoru ISP.	21
Obr. 3.13:	Napájení mikrokontroléru a ostatních periferií.	22
Obr. 3.14:	Vývojové diagramy firmware mikroprocesoru.	23
Obr. 4.1:	Grafické prostředí aplikačního programu.	27
Obr. 5.1:	Celkový pohled na konstrukci teplotní testovací komory.	38
Obr. 5.2:	Detailní pohled na umístění teplotních senzorů v teplotní komoře.	38
Obr. 5.3:	Pohled na umístění jednotlivých DPS v boxu řídicí jednotky.	39
Obr. 5.4:	Pohled na čelní panel boxu řídicí jednotky.	39
Obr. 5.5:	Pohled na zadní panel boxu řídicí jednotky.	40
Obr. 6.1:	Grafické zobrazení průběhu funkční zkoušky.	41
Obr. 6.2:	Detail průběhu procesů 1 a 2.	42

Seznam tabulek

Tab. 1.1:	Teplotní rozlišení obvodu DS18B20	4
Tab. 1.2:	Význam jednotlivých vývodů u jednotlivých pouzder	5
Tab. 2.1:	Základní parametry Peltierova článku (převzato z [5])	9
Tab. 3.1:	Popis pinů displeje CM 0820-STN-LY (převzato z [9])	12
Tab. 3.2:	Popis pinů registru 74HC164 (převzato z [5]).....	13
Tab. 3.3:	Základní parametry MOSFET tranzistorů (převzato z [13])	14
Tab. 3.4:	Popis pinů DC/DC měniče LN2574N (převzato z [8]).....	19
Tab. 4.1:	Význam jednotlivých bajtů automatického vysílání dat teplotní komory ...	28
Tab. 4.2:	Seznam jednotlivých instrukcí komunikačního protokolu	29
Tab. 4.3:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x01	29
Tab. 4.4:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x01	30
Tab. 4.5:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x02	30
Tab. 4.6:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x02.....	30
Tab. 4.7:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x03	31
Tab. 4.8:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x03.....	31
Tab. 4.9:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x04	31
Tab. 4.10:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x04.....	32
Tab. 4.11:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x05	32
Tab. 4.12:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x05.....	32
Tab. 4.13:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x06	33
Tab. 4.14:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x06.....	33
Tab. 4.15:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x07	33
Tab. 4.16:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x07.....	34
Tab. 4.17:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x08	34
Tab. 4.18:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x08.....	34
Tab. 4.19:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x09	35
Tab. 4.20:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x09.....	35
Tab. 4.21:	Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x0A	35
Tab. 4.22:	Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x0A.....	36
Tab. 5.1:	Význam jednotlivých pinů datového konektoru	37
Tab. 6.1:	Parametry nastavených procesů funkční zkoušky teplotní komory.....	41

Úvod

Řada průmyslových výrobců potřebuje pro zvýšení kvality svých produktů provádět různé zátěžové testy. Jedním z nejdůležitějších testů je test teplotní odolnosti. Náhlé změny teplot dokáží výrazně zkrátit životnost produktů nebo snížit jeho kvalitu. K tomuto účelu jsou používány testovací teplotní komory. Moderní teplotní komory disponují velkým teplotním rozsahem, a to od $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do několika stovek $^{\circ}\text{C}$. Samozřejmostí je možnost nastavení jednotlivých procesů chlazení nebo ohřívání.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem malé testovací teplotní komory do objemu 5 l s využitím Peltierových článků. Teplotní komora by měla splňovat několik základní parametrů:

- pracovní rozsah teplot od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- přesnost měření $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- možnost nastavení až 100 individuálních procesů, kde jeden proces může trvat maximálně 65535 sekund a požadovaná teplota bude zadávána s přesností na $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- možnost nastavení a ovládání teplotní komory prostřednictvím aplikačního programu na PC,
- externí napájení ze zdroje 15 Vss / 25 A.

V první části práce jsou popsány základní typy teplotních senzorů vhodných pro teplotní komory. Nedílnou součástí je výběr vhodného senzoru pro realizaci komory.

Druhá část práce se zabývá fyzikálními vlastnostmi Peltierových článků. Podstatná část této části je věnována matematický popis Peltierových baterií.

Třetí část popisuje jednotlivé části teplotní komory. Obecně se dá říci, že testovací teplotní komora se skládá ze dvou základních částí, a to z komory a řídicí jednotky. Řídicí jednotka obsahuje ovládací panel s rotačním mechanickým snímačem polohy a čtyřmi tlačítkovými spínači. Součástí panelu jsou dále dva LCD displeje a tři luminiscenční diody. Dalšími částmi řídicí jednotky je mikrokontrolér s podpůrnými obvody, jednotka zajišťující řízení výkonu Peltierových článků a jednotka umožňující připojení teplotní komory do sítě Ethernet. Samotná komora je vytvořena z upravené autoledničky.

Čtvrtá část práce popisuje základní rysy aplikačního programu. Součástí této části je popis komunikačního protokolu.

Závěr práce je věnován konstrukci teplotní komory a výsledkům testů funkčnosti komory.

1 SENZORY TEPLOTY

Dle fyzikálního principu se senzory teploty dělí do několika kategorií. Vzhledem k velikosti tepelné komory se tato semestrální práce bude zabývat pouze senzory polovodičovými.

1.1 Polovodičové odporové senzory teploty

Polovodičové odporové senzory využívají teplotní závislost odporu. Dominantní je závislost koncentrace nosičů náboje n na teplotě dle vztahu [1]

$$n = e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (1.1)$$

kde ΔE je šířka mezery mezi energetickými hladinami a k je Boltzmannova konstanta. Pro teplotní součinitel α platí [1]

$$\alpha \approx \frac{\partial(\ln n)}{\partial T} \approx -\frac{\Delta E}{2kT} \frac{1}{T}, \quad (1.2)$$

Polovodičové odporové senzory teploty lze rozdělit na termistory a monokrystalické odporové senzory.

1.1.1 Termistory

Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Výhodami termistorů jsou velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou je nelineární teplotní charakteristika.

V závislosti na teplotním součiniteli odporu dělíme termistory na negastory (NTC termistory) a pozistory (PTC termistory). Negastory se vyznačují velkým záporným teplotním součinitelem odporu a pozistory velkým kladným teplotním součinitelem odporu. Tyto charakteristické vlastnosti jsou způsobeny použitým výrobním materiálem a technologií výroby.

1.1.2 Monokrystalické odporové senzory

Monokrystalické senzory teploty lze zhotovit z křemíku, germania, india včetně jejich slitin aj. K měření teploty v rozsahu od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ se v průmyslové praxi často používá Si senzor. Senzor je založen na nevlastním polovodiči typu N, tj. s dominantní elektronovou vodivostí, pro kterou platí vztahy [1]

$$\begin{aligned} n \cdot p &= n_i^2 \\ \sigma &= e \cdot (\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p) \end{aligned} \quad (1.3)$$

kde σ je konduktivita, e je elementární náboj, n_i je vlastní koncentrace nosičů nábojů, n je koncentrace nábojů, p je koncentrace děr, μ_n je pohyblivost elektronů a μ_p je pohyblivost děr.

Teplotní závislost rezistivity křemíku je tedy dána teplotní závislostí pohyblivostí nosičů. Se zvyšující se teplotou dochází vlivem rozptylu nosičů náboje na mřížce polovodiče ke zmenšování pohyblivosti těchto nosičů a rezistivita polovodiče narůstá.

Pro větší rozsah teplot od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ lze použít senzor SiC, který se vyrábí tenkovrstvou technologií vysokofrekvenčním napařováním na substrát Al_2O_3 .

1.2 Monolitické PN senzory teploty

Monolitické senzory teploty jsou nejčastěji založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Tyto teplotní senzory mají teplotní rozsah od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nejistotu měření v rozsahu 0,6 % až 2 %.

1.2.1 Diodové PN senzory teploty

Napětí na PN přechodu diody v propustném směru U_D je dáno vztahem [1]

$$U_D = mU_T \ln\left(\frac{I_D}{I_S} + 1\right), \quad (1.4)$$

kde I_S je saturační proud PN přechodu diody v závěrném směru, I_D je saturační proud PN přechodu diody v propustném směru, m je rekombinační koeficient polovodiče a U_T představuje teplotní napětí, které je dáno vztahem [1]

$$U_T = \frac{kT}{e}, \quad (1.5)$$

kde k je Boltzmannova konstanta, T je termodynamická teplota a e je elementární náboj.

Vzhledem k tomu, že závislost saturačního proudu PN přechodu I_S na teplotě je přibližně exponenciální, napětí na PN přechodu diody v propustném směru U_D s rostoucí teplotou klesá.

1.2.2 Tranzistorové PN senzory teploty

Tranzistorové PN senzory teploty jsou založeny na obdobném principu jako diodové PN senzory teploty s tím rozdílem, že u těchto senzorů je využívána teplotní závislost napětí přechodu báze – emitor v propustném směru. Napětí přechodu báze – emitor U_{BE} vychází z rovnic (1.4) a (1.5) a je dáno vztahem [1]

$$U_{BE} = U_T \ln \frac{I_C}{I_S}, \quad (1.6)$$

kde I_C představuje proud tekoucí kolektorem tranzistoru.

Úpravou vztahu (1.6) dostaneme [1]

$$\frac{U_{BE}}{T} = \frac{k}{e} \ln I_C - \frac{k}{e} \ln I_S, \quad (1.7)$$

1.2.3 Monolitické (integrované) PN senzory teploty

U integrovaných senzorů teploty tvoří vlastní senzor teploty a elektrický obvod jediný monolitický prvek. Nejčastěji jsou založeny na dvojici bipolárních tranzistorů napájených ze zdrojů proudů. Výhodou tohoto diferenčního uspořádání je potlačení vlivu teplotní závislosti I_S a chyby způsobené oteplením polovodiče ztrátovým výkonem.

1.2.4 Dallas DS18B20

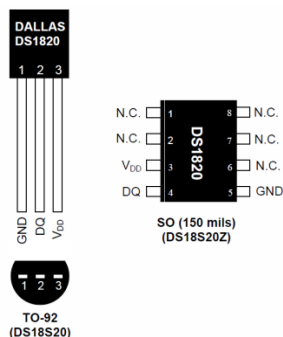
Jedním z představitelů integrovaných PN senzorů teploty je produkt společnosti Dallas Semiconductor (Maxim Innovation Delivered) pod označením DS18B20. Vzhledem k požadovanému rozsahu teplot teplotní komory a s ohledem na požadovanou přesnost měření, je tento senzor použit při realizaci teplotní komory.

DS18B20 je integrovaný senzor teploty vyznačující se měřicím teplotním rozsahem od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností měření $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na rozsahu od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výhodou tohoto senzoru je digitální výstup, který zajišťuje převod teploty na binární kód. Výsledek převodu teploty je uživatelsky nastavitelný na 9, 10, 11 nebo 12 bitů, a tomu odpovídá příslušné teplotní rozlišení (viz. tab. 1.1).

Tab. 1.1: Teplotní rozlišení obvodu DS18B20

Počet výstupních bitů	Příslušné teplotní rozlišení [$^{\circ}\text{C}$]
9	0,5
10	0,25
11	0,125
12	0,0625

Unikátností tohoto senzoru je použití jedno-vodičového sériového rozhraní (1-wire), kde ve standardním zapojení jsou použity dva vodiče pro napájení senzoru a jeden vodič je použit pro datové propojení s řídicím mikrokontrolérem (viz. obr. 1.1).



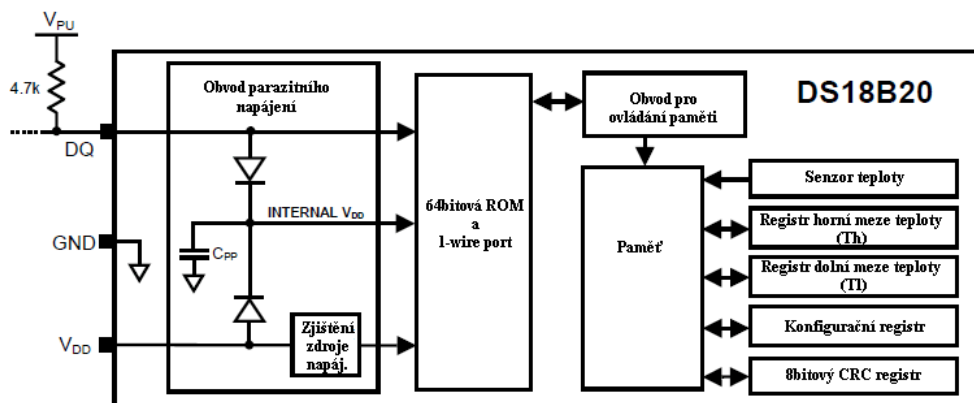
Obr. 1.1: Možná provedení senzoru DS18B20 (převzato z [3]).

Význam jednotlivých vývodů u jednotlivých typů pouzder je popsán v následující tabulce (viz. tab. 1.1).

Tab. 1.2: Význam jednotlivých vývodů u jednotlivých pouzder

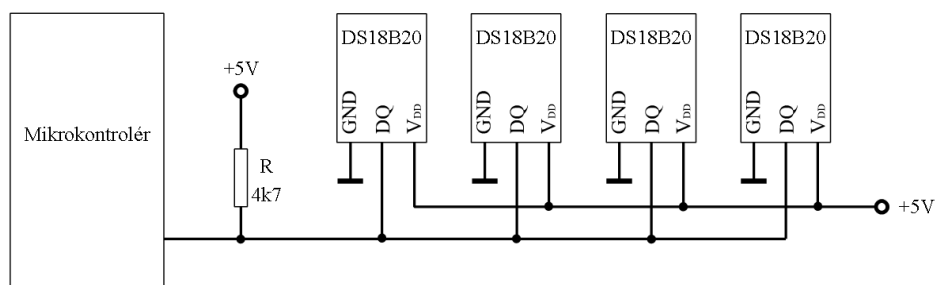
Provedení pouzdra		Označení vývodu	Popis vývodu
TO-92	8-PIN SOIC		
1	5	GND	Zem
2	4	DQ	Datový vstup / výstup pro připojení k 1-wire sběrnici. V případě použití parazitního napájení slouží rovněž k napájení senzoru.
3	3	V _{DD}	Napájení senzoru. V případě použití parazitního napájení, musí být tento vývod uzemněn.
-	1, 2, 6, 7, 8	N.C.	Nepoužito

Senzor teploty DS18B20 se skládá z několika částí. V 64bitové ROM paměti je uloženo unikátní sériové číslo čidla. Paměť EEPROM obsahuje 2bytový teplotní registr, ve kterém je uložen digitální výstup z teplotního senzoru. Dále paměť obsahuje dva 1bytové registry pro nastavení horní a spodní meze teploty (T_H a T_L). Součástí obvodu jsou dále podpůrné obvody zajišťující funkcionalitu obvodu (viz. obr. 1.2).



Obr. 1.2: Vnitřní blokové schéma obvodu DS18B20 (převzato z [3]).

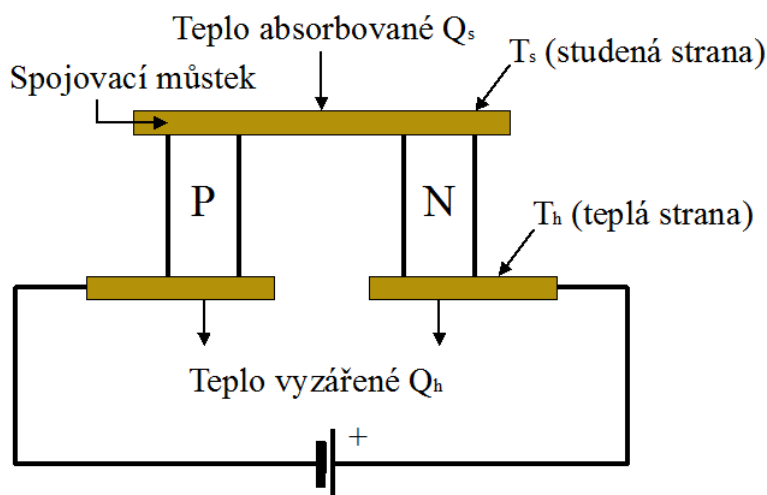
Jak již bylo uvedeno, každý senzor obsahuje jedinečný 64bitový ROM kód. Tento kód zajišťuje možnost připojení několika těchto senzorů na jednu datovou sběrnici. Typické připojení několika senzorů DS18B20 k mikrokontroléru je patrné z následujícího obrázku (viz. obr. 1.3).



Obr. 1.3: Příklad zapojení senzoru DS18B20 s využitím externího napájení.

2 PELTIERŮV ČLÁNEK

Peltierův článek se skládá ze dvou polovodičových sloupků P a N (viz. obr. 2.1). Na jedné straně jsou můstky vodivě spojeny spojovacím můstkem a na druhé straně můstků se nacházejí kontaktní plošky, které zajišťují přívod elektrické energie. Spojovací můstek a kontaktní plošky absorbují nebo vyzařují teplo.



Obr. 2.1: Principiální zapojení Peltierova článku (převzato z [4]).

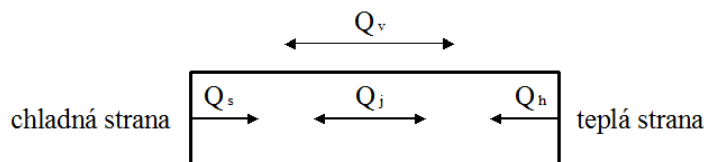
Při tomto zapojení článku jsou majoritní nosiče náboje elektrony z polovodiče typu N odváděny směrem ke zdroji napětí a současně jsou ke zdroji napětí z polovodiče typu P odváděny díry (majoritní nosiče náboje). Ve spojovacím můstku tedy klesá počet volných nosičů náboje a klesá tedy kontaktní napětí mezi spojovacím můstkem a polovodiči. Spojovací můstek se tedy ochlazuje, zatímco druhý spoj se ohřívá.

Základním polovodičovým materiálem pro výrobu Peltierových článků jsou převážně bizmut-telluridy. Tyto materiály se vyznačují výhodnými termoelektrickými vlastnostmi. Mají malý měrný elektrický odpor a malý součinitel tepelné vodivosti. Spojovací můstky jsou většinou vyráběny z mědi, protože měď má malý měrný elektrický odpor a snadno se k ní pájí další součástky.

Jednotlivé Peltierovy články se obvykle zapojují do série ve větší celky, tzv. chladicí termobaterie. Jednotlivé termobaterie je možné dále skládat do větších kaskádních celků. Toto uspořádání má oproti jednomu článku tu výhodu, že její tepelný výkon je nesrovnatelně vyšší.

2.1 Matematický popis Peltierových baterií

Aby bylo možné určit množství a typy Peltierových článků, které jsou zapotřebí pro správnou funkčnost tepelné komory, je potřeba vycházet z energetické bilance jednoho článku (viz. obr. 2.1).



Obr. 2.2: Energetický popis Peltierova článku (převzato z [10]).

Odváděný tepelný výkon na chladné straně lze je dán vztahem [10]

$$Q_s = \alpha \cdot T_s \cdot I_{Pe} \quad \left[W; \frac{V}{K}, K, A \right], \quad (2.1)$$

kde T_s je teplota chladné strany, I_{Pe} je proud tekoucí Peltierovým článkem α je termoelektrické napětí Peltierova článku odpovídající vztahu

$$\alpha = \frac{R_{Pe} \cdot I_{Pe}}{T_s} \quad \left[\frac{V}{K}; \Omega, A, K \right], \quad (2.2)$$

kde R_{Pe} je vnitřní odpor Peltierova článku.

Na teplé straně se do okolí uvolňuje tepelný výkon [10]

$$Q_h = \alpha \cdot T_h \cdot I_{Pe} \quad \left[W; \frac{V}{K}, K, A \right], \quad (2.3)$$

kde T_h je teplota teplé strany.

Průchodem proudu vzniká uvnitř článku Jouleovo teplo [10]

$$Q_j = R_{Pe} \cdot I_{Pe}^2 \quad [W; \Omega, A]. \quad (2.4)$$

Vlivem teplotního rozdílu mezi chladnou stranou a teplou stranou se šíří teplo [10]

$$Q_v = K \cdot \Delta T \quad \left[W; \frac{W}{K}, K \right], \quad (2.5)$$

kde ΔT je teplotní rozdíl mezi teplou a studenou stranou [10]

$$\Delta T = T_h - T_s \quad [K; K, K], \quad (2.6)$$

a K je tepelná vodivost Peltierova článku a dána vztahem [10]

$$K = \frac{S}{l}(\lambda_1 + \lambda_2) \quad \left[\frac{W}{K}; m^2, m, \frac{W}{m \cdot K} \right], \quad (2.7)$$

kde S je průřez polovodičových sloupků Peltierova článku, l je délka sloupků a λ_1, λ_2 jsou tepelné vodivosti obou polovodičových sloupků.

Za předpokladu lineárního průběhu teploty mezi teplými a studenými stranami lze vyjádřit chladicí výkon Peltierovy baterie [10]

$$Q_{Pe} = n_{Pe} \cdot \left(Q_s - \frac{1}{2} Q_j - Q_v \right) \quad [W; -, W, W, W], \quad (2.8)$$

kde n_{Pe} představuje počet článků v Peltierově baterii.

Úpravou vztahu (2.8) získáme [10]

$$Q_{Pe} = n_{Pe} \cdot \left(\alpha \cdot T_s \cdot I_{Pe} - \frac{1}{2} R_{Pe} \cdot I_{Pe}^2 - K \cdot \Delta T \right) \quad [W]. \quad (2.9)$$

Příkon Peltierova článku, který se skládá ze dvou částí, a to Jouleovo tepla Q_j a z výkonu potřebného na překonání termoelektrické síly, lze vyjádřit vztahem [10]

$$P_{Pe} = n_{Pe} \cdot \left(R_{Pe} \cdot I_{Pe}^2 + \alpha \cdot \Delta T \cdot I_{Pe} \right) \quad [W]. \quad (2.10)$$

Celkový vyzařovaný výkon Peltierova článku lze vyjádřit vztahem [10]

$$Q_{ch} = Q_{Pe} + P_{Pe} \quad [W]. \quad (2.11)$$

Úpravou vztahu (2.11) získáme [10]

$$Q_{ch} = n \cdot \left(\alpha \cdot T_h \cdot I_{Pe} + \frac{1}{2} R_{Pe} \cdot I_{Pe}^2 - K \cdot \Delta T \right) \quad [W]. \quad (2.12)$$

Poměr chladicího výkonu k příkonu vyjadřuje účinnost chlazení [10]

$$\varepsilon_{Pe} = \frac{Q_{Pe}}{P_{Pe}} \cdot 100 \quad [\%]. \quad (2.13)$$

2.2 Volba Peltierových baterií

Na základě předchozí teoretických poznatků, jsou v teplotní komoře použity 4 kusy Peltierových baterií TEC1-12706. Baterie se vyznačuje rozměry 40 x 40 x 3,8 [mm] a základní parametry tohoto článku jsou uvedeny v následující tabulce (viz. tab. 2.1).

Tab. 2.1: Základní parametry Peltierova článku (převzato z [5])

Teplota teplé strany [°C]	25	50
Q_{\max} [W]	50	57
ΔT_{\max} [°C]	66	75
I_{\max} [A]	6,4	6,4
U_{\max} [V]	14,4	16,4
R_{Pe} [Ω]	1,98	2,30

Význam jednotlivých parametrů je následující:

I_{\max} je maximální proud protékající článkem

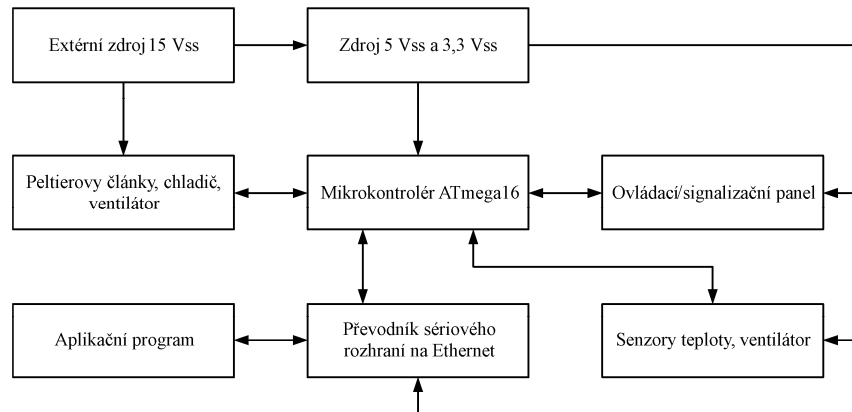
U_{\max} je maximální napájecí napětí článku

ΔT_{\max} je maximální teplotní rozdíl, jaký můžeme na článku dosáhnout při proudu I_{\max}

Q_{\max} je maximální chladicí výkon článku při proudu I_{\max}

3 ČÁSTI TEPELNÉ KOMORY

Elektronická část tepelné komory se skládá z několika částí. Základním prvkem je mikrokontrolér AVR Atmega16, ke kterému je připojen ovládací a signalizační panel, senzory teploty s ventilátory, Peltierovy články s chladičem a ventilátorem, převodník RS232 na TCI/IP a podpůrný napájecí zdroj. Blokové schéma zapojení je patrné z následujícího obrázku (viz. obr. 3.1)

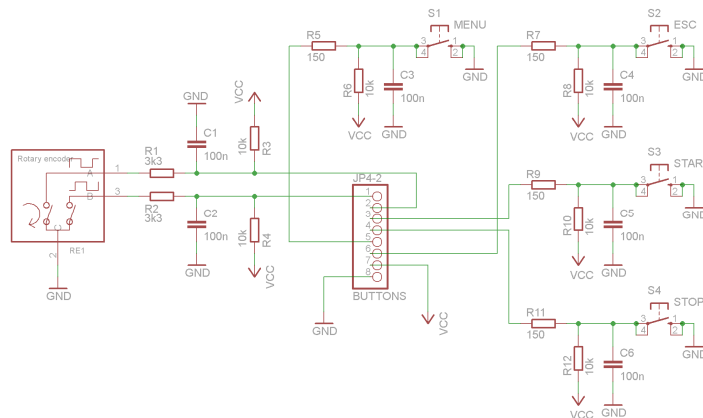


Obr. 3.1: Blokové schéma zapojení tepelné komory.

3.1 Ovládací / signalizační panel

Součástí tohoto panelu jsou rotační mechanický snímač polohy doplněný o čtyři tlačítkové spínače. Jedno z tlačítek slouží pro vstup do programovacího menu komory. V programovacím módu slouží toto tlačítko k potvrzení nastaveného parametru. Pohyb v jednotlivých částech menu a nastavení jednotlivých položek menu je zajištěno rotačním snímačem polohy. Druhé tlačítko slouží pro opuštění zvoleného menu. Poslední dvě tlačítka slouží pro spuštění a zastavení teplotních procesů komory.

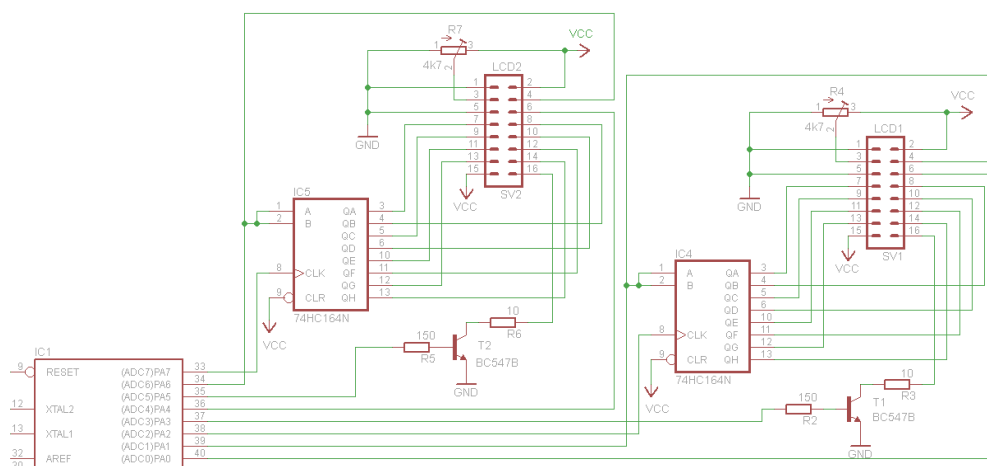
Tlačítka i rotační snímač polohy budou opatřeny protizákmitovými RC filtry a budou připojeny přímo ke vstupním portům mikrokontroléru.



Obr. 3.2: Zapojení snímače polohy a tlačítek.

Vzhledem k tomu, že ovládací tlačítka i rotační mechanický snímač polohy jsou vstupní zařízení, je zapotřebí vstupně/výstupní porty mikrokontroléru vhodně nastavit. Dále je nutné správně nastavit obsluhu externího přerušení, ke které dojde při stisku tlačítka MENU v běžném provozu komory.

Pro zobrazování aktuálních hodnot jsou použity dva dvouřádkové LCD displeje s 8 znaky. V běžném provozu jeden z displejů slouží pro zobrazení teploty a druhý pro zobrazení času. V programovacím módu zobrazují displeje detaily zvoleného menu. Komunikace displejů s mikrokontrolérem bude probíhat prostřednictvím 8bitových posuvných registrů 74HC164.

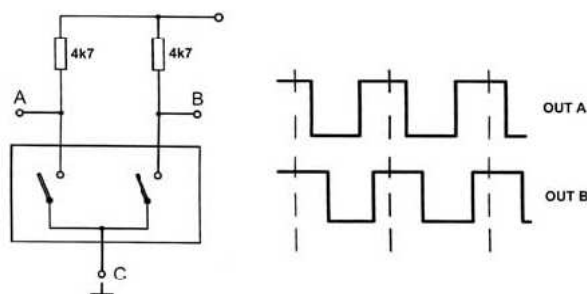


Obr. 3.3: Připojení LCD displeje k mikrokontroléru.

Pro signalizaci základních stavů tepelné komory slouží tři luminiscenční diody, které jsou připojeny přímo k mikrokontroléru AVR. Jedna LED slouží pro signalizaci zahájení procesu ohřevu, druhá LED je pro signalizaci procesu chlazení a třetí LED signalizuje docílení nastavené teploty procesu.

3.1.1 Rotační mechanický snímač polohy

Základní princip rotačního snímače polohy spočívá v tom, že snímač generuje 2 obdélníkové průběhy fázově posunuté. Z frekvence vzniklých obdélníkových průběhů napětí je možné stanovit rychlost otáčení a z jejich vzájemné fáze potom směr otáčení.



Obr. 3.4: Typické zapojení rotačního mechanického snímače polohy a časové průběhy výstupních signálů (převzato z [5]).

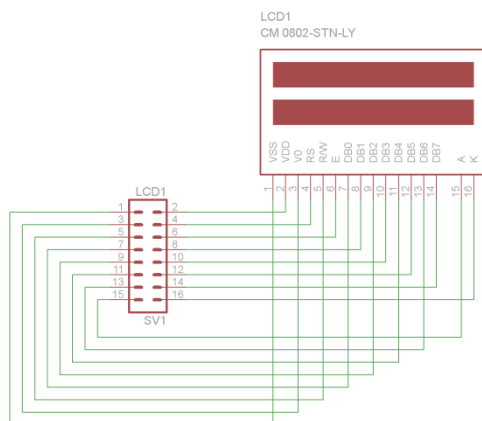
3.1.2 LCD displej CM 0820-STN-LY

CM 0820-STN-LY je osmi-znakový dvouřádkový LCD displej s LED podsvícením, založený na řadiči firmy Hitachi HD44780U. Komunikaci s displejem je možné realizovat pomocí 4bitové či 8bitové sběrnice. Na displeji je možno zobrazovat všechny znaky ASCII, popřípadě si i vytvořit svoje vlastní. Popis a označení jednotlivých pinů displeje je patrné z následující tabulky (viz. tab. 3.1).

Tab. 3.1: Popis pinů displeje CM 0820-STN-LY (převzato z [9])

Číslo pinu	Popis pinu	Význam pinu
1	VSS	GND
2	VDD	+ 5V
3	VEE	Nastavení kontrastu
4	RS	Registr select
5	R/W	Read / write
6	E	Enable
7 – 14	DB0 – DB7	Data bits
15	LED A	LED podsvícení (Anoda)
16	LED K	LED podsvícení (Katoda)

Propojení mezi LCD displejem a konektorem SV1 (SV2) je patrné z následujícího obrázku (viz. obr. 3.5).



Obr. 3.5: Detail připojení LCD displeje.

3.1.3 Posuvný registr 74HC164

Jedná se o 8bitový serial-in, parallel-out shift register, který umožní připojení 8bitové sběrnice LCD displeje k mikrokontroléru při použití pouze 3 vodičů. Význam jednotlivých pinů registru je patrný z následující tabulky (viz. tab. 3.2).

Tab. 3.2: Popis pinů registru 74HC164 (převzato z [5])

Popis pinu	Význam pinu
DSA	Data input
DSB	Data input
Q0 – Q7	Data output
GND	GND
CP	Clock input
MR	Master reset input
VCC	Napájení +5 V

3.2 Senzory teploty, ventilátory

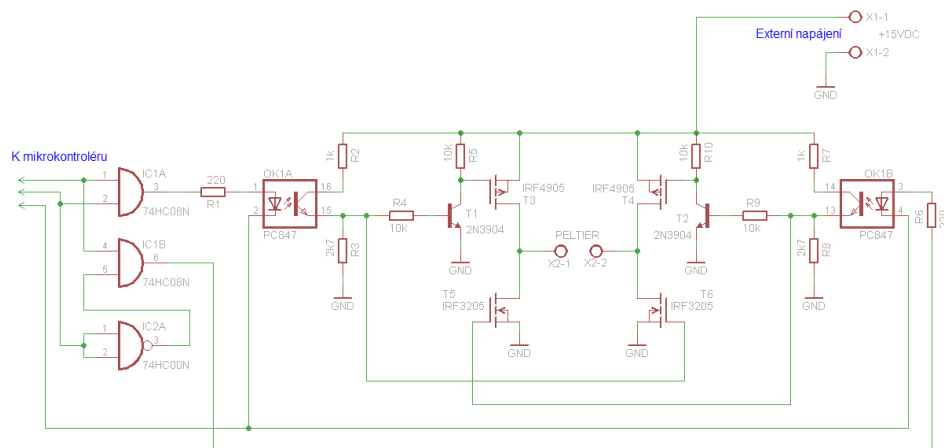
Ve vnitřním prostoru autoledničky jsou na obou bočních stěnách umístěny po dvou kusech teplotních senzorů (každý na samostatné desce plošného spoje). Horní víko autoledničky je doplněn o dva ventilátory, zajišťující optimální cirkulaci vzduchu. Rychlost otáčení ventilátoru je řízena z mikrokontroléru AVR za použití pulzně šířkové modulace (PWM). Výkonový MOSFET tranzistor typu N je doplněn o optočlen, který zajistí galvanické oddělení od mikrokontroléru.

3.3 Peltierovy články, chladič, ventilátory

Stávající čelní stěna autoledničky je osazená blokem, který obsahuje profilovaný hliníkový chladič o rozměrech 275 x 120 x 37 [mm]. Z nabídky společnosti GM electronic [5] se jedná o chladič s označením CHLE37E. Na jedné straně chladiče jsou připevněny čtyři Peltierovy články a na druhé straně jsou upevněny dva ventilátory 120 x 120 [mm].

Vzhledem k tomu, že Peltierovy články slouží jak ke chlazení, tak i k ohřevu, je nutné měnit polaritu napájení Peltierových článků. Toto je zajištěno použitím H-můstku. Pro realizaci H-můstku jsou použity celkem čtyři tranzistory MOSFET s indukovaným kanálem, dva typu N a dva typu P. Jedná se v podstatě o “křížové” spínání jednotlivých tranzistorů. Pokud je sepnutý tranzistor T3, je současně sepnutý tranzistor T6 a tranzistory T4, T5 jsou rozepnuté. V případě sepnutí tranzistorů T4, T5 jsou rozepnuté tranzistory T3, T6. Obvod je dále doplněn o dva bipolární tranzistory, které zajišťují optimální nastavení pracovního bodu výkonových tranzistorů T3 a T4.

Jednotlivé tranzistory jsou řízeny z mikrokontroléru AVR za použití pulzně šířkové modulace (PWM) s pracovní frekvencí 5,4 kHz. Tímto je docíleno řízení výkonu Peltierových článků. Tranzistory jsou doplněny o obvody zajišťující galvanické oddělení od mikrokontroléru AVR a dále pak o obvody, které zabrání sepnutí všech čtyř tranzistorů současně. Vzhledem k tomu, že pro plné otevření navržených výkonových tranzistorů (IRF4905 a IRF3205) je zapotřebí napětí o velikosti až 20 V, obvody pro galvanické oddělení (optočleny a příslušné rezistory) současně slouží pro nastavení pracovního bodu jednotlivých tranzistorů.



Obr. 3.6: Principiální zapojení H-můstku.

Nedílnou součástí návrhu H-můstku je i výpočet tepelných ztrát na výkonových tranzistorech MOSFET. Je zapotřebí brát v úvahu ztráty v ustáleném P_{UST} a současně i přepínací ztráty P_{PR} . Celkové tepelné ztráty P_{ZTR} jsou důležitým faktorem pro výběr vhodného chladiče.

Pro výpočet jednotlivých ztrát je nutné znát některé důležité použité tranzistorů. Jedná se zejména o parametry uvedené v následující tabulce (viz. tab. 3.3).

Tab. 3.3: Základní parametry MOSFET tranzistorů (převzato z [13])

Parametr	Typ tranzistoru		Popis parametru
	IRF3205	IRF 4905	
U_{DS} [V]	55	- 55	Maximální napětí v závěrném směru
I_D [A]	110	- 74	Maximální proud v propustném směru
$R_{DS(ON)}$ [Ω]	0,008	0,02	Odpor přechodu DS v sepnutém stavu
t_{on} [ns]	14	18	Zapínací doba tranzistoru
t_{off} [ns]	50	61	Vypínací doba tranzistoru
R_{ujc} [$^{\circ}C/W$]	0,75	0,75	Vnitřní tepelný odpor tranzistoru
R_{vcs} [$^{\circ}C/W$]	0,5	0,5	Tepelný odpor styku tranzistoru s chladičem
T_{Jmax} [$^{\circ}C$]	150	150	Maximální teplota pouzdra tranzistoru

Při předpokládané efektivní hodnotě protékajícího proudu $I_{ef} = 22$ A, který protéká tranzistorem v sepnutém stavu, a z uvedených parametrů lze již určit tepelné ztráty v ustáleném stavu tranzistoru *IRF3205* [12]

$$P_{UST,3205} = R_{DS(ON)} \cdot I_{ef}^2 = 0,008 \cdot 22^2 = 3,872 \text{ W} . \quad (3.1)$$

Stejným způsobem lze i určit tepelné ztráty v ustáleném stavu tranzistoru *IRF4905*:

$$P_{UST,4905} = R_{DS(ON)} \cdot I_{ef}^2 = 0,02 \cdot 22^2 = 9,68 \text{ W} . \quad (3.2)$$

Z předpokládané hodnoty napětí $U_{CC} = 15 \text{ V}$ (napájecí napětí teplotní komory) a z hodnoty pracovního kmitočtu $f = 5,4 \text{ kHz}$, lze přepínací ztráty tranzistoru *IRF3205* určit vztahem [12]

$$P_{P\check{R},3205} = \frac{1}{4} (U_{CC} \cdot I_{ef}) \cdot (t_{on} + t_{off}) \cdot f$$

$$P_{P\check{R},3205} = \frac{1}{4} (15 \cdot 22) \cdot (14 \cdot 10^{-9} + 50 \cdot 10^{-9}) \cdot 5,4 \cdot 10^3 = 0,0285 \text{ W} . \quad (3.3)$$

Obdobným způsobem lze i určit přepínací ztráty tranzistoru *IRF4905* [12]

$$P_{P\check{R},4905} = \frac{1}{4} (15 \cdot 22) \cdot (18 \cdot 10^{-9} + 61 \cdot 10^{-9}) \cdot 5,4 \cdot 10^3 = 0,0352 \text{ W} . \quad (3.4)$$

Celkové ztráty jednoho tranzistoru *IRF3205* odpovídají hodnotě [12]

$$P_{ZTR,3205} = P_{UST,3205} + P_{P\check{R},3205} = 3,872 + 0,0285 = 3,9005 \text{ W} , \quad (3.5)$$

a pro tranzistor *IRF4905* je hodnota celkových ztrát [12]

$$P_{ZTR,4905} = P_{UST,4905} + P_{P\check{R},4905} = 9,68 + 0,0352 = 9,7152 \text{ W} , \quad (3.6)$$

Celkové ztráty tranzistorového můstku při plném zatížení jsou rovny hodnotě [12]

$$P_{ZTR} = 2 \cdot P_{ZTR,3205} + 2 \cdot P_{ZTR,4905} = 2 \cdot 3,9005 + 2 \cdot 9,7142 = 27,2294 \text{ W} . \quad (3.7)$$

Při výpočtu tepelného odporu chladiče je zapotřebí počítat i s tepelným odporem teplovodní pasty $R_{pas} = 0,1 \text{ K/W}$ a tepelným odporem izolační podložky $R_{iz} = 1,2 \text{ K/W}$. Při zvolené provozní teplotě okolí $T_0 = 40 \text{ °C}$ a provozní teplotě pouzder jednotlivých tranzistorů $T_J = 40 \text{ °C}$ lze stanovit potřebný tepelný odpor chladiče pro všechny čtyři tranzistory následujícím vztahem [12]

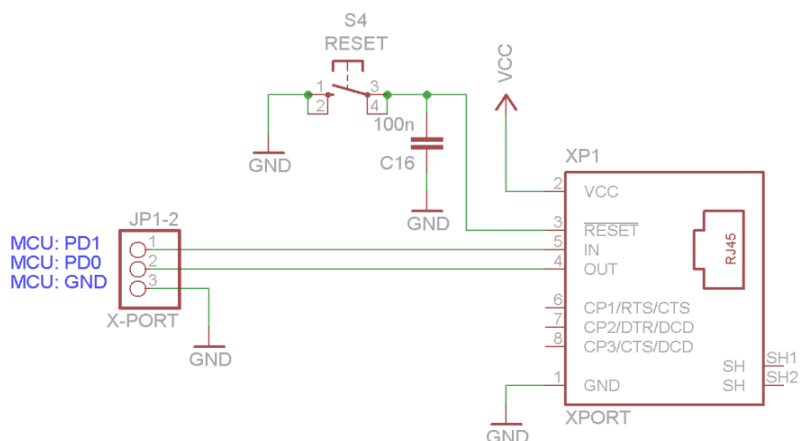
$$R_H = \frac{T_J - T_0}{P_{ZTR}} - R_{vj\check{c}} - R_{\check{d}cs} - R_{pas} - R_{iz}$$

$$R_H = \frac{120 - 40}{27,2294} - \frac{0,75}{4} - \frac{0,5}{4} - \frac{0,1}{4} - \frac{1,2}{4} = 2,3005 \text{ K / W} . \quad (3.8)$$

Z nabídky společnosti GM Electronic je použit hliníkový chladič pod označením CHL20B s uvedeným tepelným odporem chladiče $1,8 \text{ K/W}$.

3.4 Převodník RS232 na TCP/IP

Jak již bylo uvedeno, parametry tepelné komory a monitorování stavů jednotlivých prvků tepelné komory bude možné provádět prostřednictvím obslužného software na klientském PC. Z tohoto důvodu bude k mikrokontroléru připojen převodník RS232 na TCP/IP, tzv. XPort. Jedná se v podstatě o zařízení, pomocí kterého lze snadno a rychle připojit zařízení do sítí LAN/WAN a Internetu. Datové vývody z Xportu IN a OUT budou připojeny na příslušné vývody použitého mikrokontroléru RXD, TXD jednotky USART.



Obr. 3.7: Připojení Xportu k mikrokontroléru.

3.4.1 XPort Lantronix

Jedná se o převodník sériového rozhraní na ethernet. Mezi jeho základní vlastnosti patří:

- Miniaturní kompaktní provedení vhodné pro osazení do desky plošného spoje
- Ethernet 10/100Base-T (automatické rozpoznání).
- Provedení konektoru RJ-45
- Sériová linka: CMOS 5V tolerant + 3 univerzální I/O piny
- Podpora RS232 a RS485. Rychlost 300 Bd až 921600 Bd
- Výkonný procesor umožňující velký výpočetní výkon a komunikační propustnost (architektura x86, 48 MHz nebo 88 MHz)
- Široká škála podporovaných protokolů, např. TCP/IP, UDP/IP, ARP, TELNET, DHCP
- Volitelné šifrování algoritmem AES
- Snadná konfigurace pomocí WEB interface nebo SW DeviceInstaller
- Napájení modulu + 3,3 V

3.4.2 Napájení XPortu

Pro napájení X-portu je použit DC/DC měnič LM2576HV-ADJV. Tento měnič byl zvolen pro své jednoduché zapojení, které vyžaduje použití minimálního počtu externích součástek.

Mezi základní vlastnosti navrženého měniče patří [8]:

- výstupní napětí +3,3 V,
- maximální výstupní proud 3 A,
- rozsah vstupního napětí 4,75 V až 40 V,
- tepelná ochrana a proudová ochrana proti přetížení,
- pracovní frekvence 52 kHz (vnitřní oscilátor).

Základní zapojení doporučené výrobcem (viz. obr. 3.9) obsahuje zpětnou vazbu tvořenou napěťovým děličem, který se skládá ze dvou rezistorů. Pro hodnoty rezistorů platí následující vztah [8]

$$R_2 = R_1 \left(\frac{U_{out}}{U_{ref}} - 1 \right) \quad [\Omega; \Omega, V, V], \quad (3.1)$$

kde U_{out} je hodnota požadovaného výstupního napětí a U_{ref} je hodnota referenčního napětí měniče (1,23 V). Hodnota rezistoru R_1 musí být v rozsahu 1 k Ω až 5 k Ω . Pro požadované výstupní napětí 3,3 V lze použít například rezistory o hodnotě 1,6 k Ω (R_1) a 2,7 k Ω (R_2).

Pro stanovení hodnoty výstupní tlumivky L_l je zapotřebí nejprve určit konstantu $E \cdot T$ užitím vztahu [8]

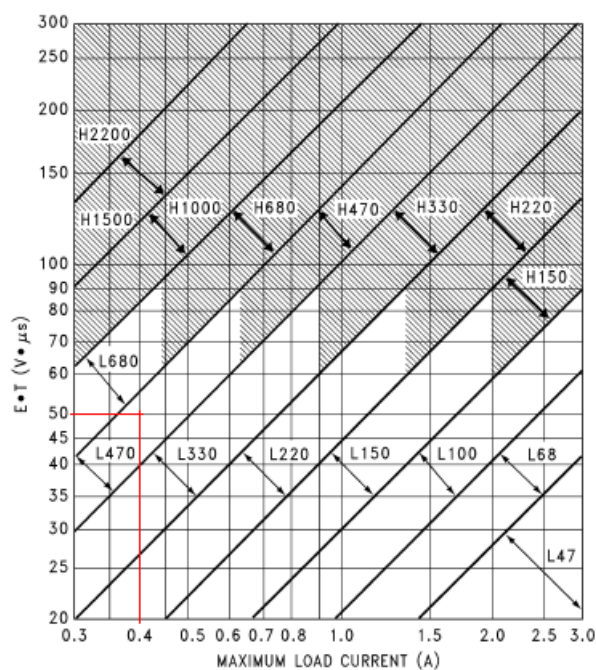
$$E \cdot T = (U_{in} - U_{out}) \frac{U_{out}}{U_{in}} \cdot \frac{1000}{f} \quad [V \cdot \mu s; V, V, V, V, kHz], \quad (3.2)$$

kde U_{in} je hodnota napájecího napětí a f je pracovní frekvence měniče.

Pro požadované výstupní napětí a napájecí napětí 15 V je hodnota konstanty $E \cdot T$

$$E \cdot T = (15 - 3,3) \frac{3,3}{15} \cdot \frac{1000}{52} = 49,5 V \cdot \mu s \quad (3.3)$$

Z vypočtené hodnoty konstanty $E \cdot T$ a z předpokládaného proudového odběru Xportu (400 mA), lze z grafu závislosti velikosti konstanty $E \cdot T$ na proudovém odběru určit velikost výstupní tlumivky L_l .



Obr. 3.8: Stanovení hodnoty výstupní tlumivky DC/DC měniče (převzato z [8]).

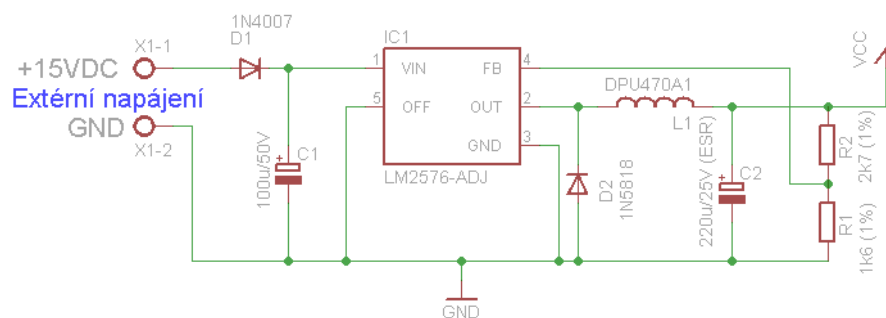
Z grafu (viz. obr. 3.8) je patrné, že hodnota tlumivky L_I je 470 μH .

K určení hodnoty výstupního kondenzátoru C_2 lze využít vztah [8]

$$C_2 \geq 13300 \frac{U_{in}}{U_{out} \cdot L_1} \quad [\mu\text{F}; V, V, \mu\text{H}] \quad (3.4)$$

a pro známé hodnoty je jeho hodnota

$$C_2 \geq 13300 \frac{15}{3,3 \cdot 470} = 128 \mu\text{F} \quad (3.5)$$



Obr. 3.9: DC/DC měnič pro napájení X-portu.

Význam jednotlivých pinů měniče je popsán v následující tabulce (viz. tab. 3.4).

Tab. 3.4: Popis pinů DC/DC měniče LN2574N (převzato z [8])

Popis pinu	Význam pinu
FB	Vstup pro zpětnou vazbu
GND	Zem
ON/OFF	Zapnutí/vypnutí měniče
VIN	Napájecí vstupní napětí
OUT	Výstupní napětí

3.5 Mikrokontrolér AVR Atmel

Vzhledem k celkovému počtu komponentů použitých v teplotní komoře, je z rodiny mikrokontrolérů AVR Atmel použit typ ATmega16. Jedná se o 8bitový nízkopříkonový mikrokontrolér založený na rozšíření architektury AVR RISC.

3.5.1 Základní vlastnosti ATmega16

Mezi základní vlastnosti mikrokontroléru ATmega16, které budou využity při realizaci tepelné komory, patří:

- instrukční soubor obsahuje 131 instrukcí,
- 32 registrů délky 8 bitů,
- čtyři 8bitové vstupně/výstupní porty,
- vstupně/výstupní registry pro řízení přerušovacího systému,
- hodinový kmitočet 0 až 16 MHz, maximální výpočetní výkon 16 MIPS,
- paměť programu je tvořena zabudovanou Flash kapacitou 16 KB,
- datová paměť RAM kapacity 1 KB,
- datová paměť EEPROM 512 B,
- dva 8bitové čítač/časovače,
- jeden 16 bitový čítač/časovač,
- čtyři PWM kanály,
- jednotka USART,
- rozhraní TWI (Two-wire serial interface),
- rozhraní SPI.

Mikroprocesory ATmega16 se vyrábějí jak v provedení PDIP, tak v SMD provedení TQFP (viz. obr. 3.10).

3.5.3 Rozhraní USART

Univerzální synchronní a asynchronní sériový přijímač a vysílač (USART) je obvod pro sériovou komunikaci. Jednotka USART, zakomponována do mikrokontroléru ATmega16, bude použita pro komunikace se zařízením Xport a následně s klientským PC. Z tohoto důvodu budou v mikrokontroléru nastaveny tyto parametry:

- počet datových bitů 8,
- počet stop-bitů 1,
- přenosová rychlost 57 600 Bd,
- normální asynchronní režim.

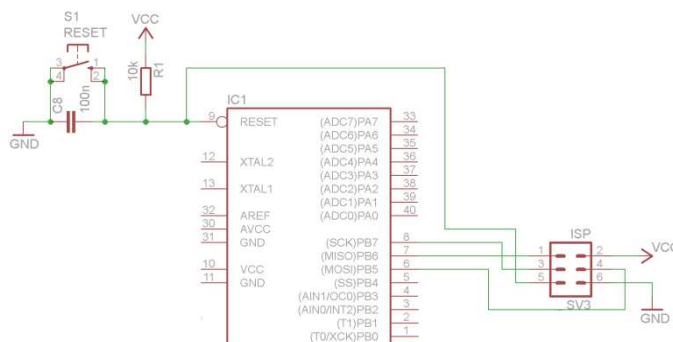
Na základě těchto parametrů bude mikrokontrolér doplněn o vnější krystal s frekvencí 11,0592 MHz.

3.5.4 PWM

Pro řízení výkonu Peltierových článků a současně i k řízení otáček jednotlivých ventilátorů budou použity tři PWM kanály, které budou pracovat v osmibitovém rychlém režimu. Tento režim je specifický tím, že čítá ode dna do maxima (přičemž maximum lze měnit volbou režimu) a poté se vrátí zpět ke dnu.

3.5.5 Rozhraní SPI

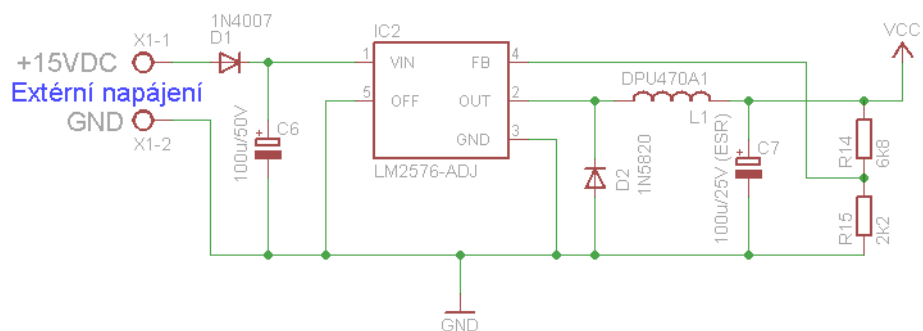
Mikrokontroléry ATmega16 mají zabudované rozhraní SPI. Jedním z rysů tohoto rozhraní je možnost programování FLASH, EEPROM, propojek a zámků. Z tohoto důvodu bude na desce plošného spoje vyveden konektor pro přímé sériové programování ISP (in system programming). Bude tedy možné k úpravě programového vybavení komory použít ISP programátor.



Obr. 3.12: Zapojení konektoru ISP.

3.5.6 Napájení mikrokontroléru

Pro napájení Mikrokontroléru a ostatních periférií je použit DC/DC měnič LM2576N-ADJV. Hodnoty jednotlivých součástek jsou určeny s využitím předchozích vztahů (3.1) až (3.5).



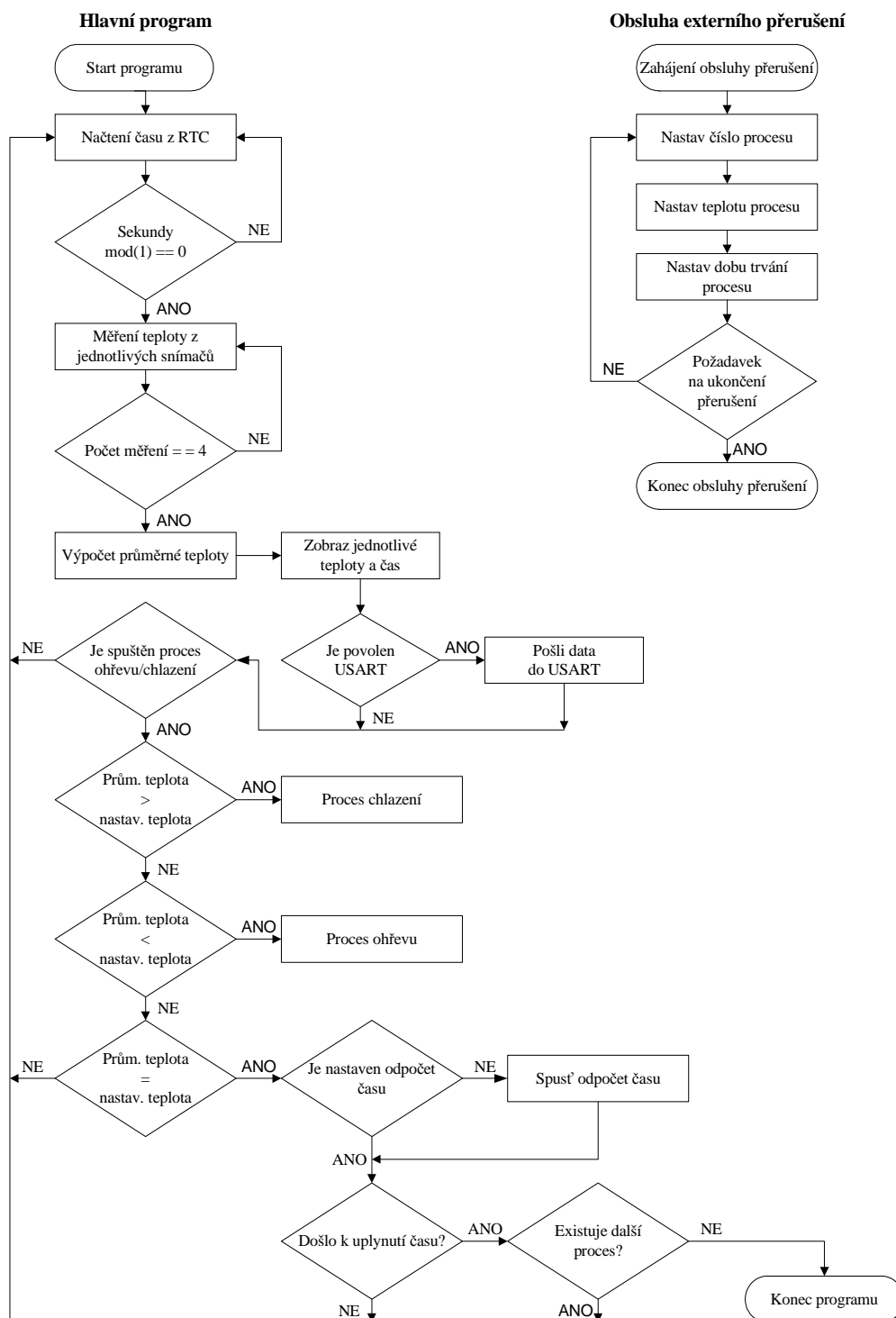
Obr. 3.13: Napájení mikrokontroléru a ostatních periférií.

3.6 Řídící firmware mikrokontroléru

V současné době je k dispozici několik nástrojů (vývojových prostředí) pro programování mikrokontroléru AVR. Jedním z nejrozšířenějších je program AVR Studio, které ve verzi 5 umožňuje programování v jazyce C. Z tohoto důvodu je řídicí firmware vytvořen v tomto vývojovém prostředí. Při tvorbě firmware jsou použité knihovny a vzory od pana Fleuryho [11] a v případě potřeby jsou upraveny.

3.6.1 Základní rysy firmware mikrokontroléru

Základní rysy programu jsou patrné z následujícího obrázku (viz. obr. 3.14).



Obr. 3.14: Vývojové diagramy firmware mikroprocesoru.

3.6.2 Základní nastavení mikrokontroléru

Vzhledem k tomu, že jsou k mikrokontroléru připojena různá zařízení, je nutné mikrokontrolér správně nakonfigurovat. Je teda zapotřebí definovat vstupní/výstupní porty pomocí registrů DDRx, PORTx a povolit obsluhu přerušení. Část programu bude vypadat takto:

```
#include <avr/io.h>           //základní knihovna
#include <avr/interrupt.h>     //knihovna pro přerušení
...

int main(void)
{
    DDRA = 0xFF;               // výstupy
    DDRB = 0x07;               // PB0, PB1, PB2 - výstupy
    PORTB = 0x07;
    DDRC = 0xC0;               // PC0 až PC5 - vstupy
    PORTC = 0xC0;
    DDRD = 0xF3;               // PD2, PD3 vstupy, ostatní výstupy
    PORTD = 0xF3;
    GICR|=0x40;                // povolení vnějšího přerušení INT0
    sei();                     // povolení všech přerušení
}
```

S nastavením vstupních/výstupních portů mikrokontroléru úzce souvisí nastavení pro LCD displeje. Vzhledem k tomu, že jsou v systému použity dva LCD displeje a k mikrokontroléru jsou připojeny prostřednictvím posuvných registrů, je zapotřebí upravit knihovnu *lcd_3wire.h* a to dle následujícího vzoru:

```
#define LCD1_PORT      PORTA    // výst. port pro registr 1
#define LCD1_ENABLE_PIN 0      // zapnutí lcd 1
#define LCD1_RS_DS_PIN 1        // vstupní data registru 1
#define LCD1_CLOCK_PIN 2        // hodiny registru 1
#define LCD1_BACKLIGHT_PIN 3    // podsvětlení lcd 1
#define LCD2_PORT      PORTA    // výst. port pro registr 2
#define LCD2_ENABLE_PIN 4        // zapnutí lcd 2
#define LCD2_BACKLIGHT_PIN 5    // podsvětlení lcd 2
#define LCD2_RS_DS_PIN 6        // vstupní data registru 1
#define LCD2_CLOCK_PIN 7        // hodiny registru 2

#define LCD1_COLS 8             // počet znaků na řádku
#define LCD2_COLS 8             // počet znaků na řádku
```

Pro ovládání H-můstku a ventilátoru jsou celkem použity tři výstupní PWM kanály. Základní nastavení v hlavním programu vypadá následovně:

```
int main(void)
{
    OCR2=0;                     // PWM pro H-mustek
    TCCR2=0b01101010;          // rychlý PWM, předdělička fclk/8
    TCCR1A = 0xA1;              // fázově korigovaný PWM,
    TCCR1B = 0x05;              // předdělička fclk/256
    OCR1B = 0;                  // PWM pro ventilátory Peltierů
    OCR1A = 0;                  // PWM pro ventilátory v komoře
}
```

Pro komunikaci jednotky USART je kromě parametrů komunikace nutné nastavit parametry připojeného oscilátoru. Vybraná část bude poté vypadat:

```
#ifndef F_CPU
#define F_CPU 11059200UL        // externí krystal 11,0592 MHz
#endif
```

```

...
#include "uart.h"                // hlavičkový soubor
...

#define UART_BAUD_RATE 57600    // přenosová rychlost

```

Parametry komunikace sběrnice 1-wire je nutné nastavit v knihovně *onewire.h*.

```

#define OW_PIN    PC6            // připojení na PORTC6
#define OW_IN     PINC
#define OW_OUT    PORTC
#define OW_DDR    DDRC

```

Parametry sběrnice TWI je nutné upravit v souboru *twi_lib.c*.

```

#define SCL_CLOCK 100000L        // rychlost sběrnice 100 kHz

```

Parametry připojeného RTC obvodu na sběrnici TWI je nutné v hlavním programu nastavit na:

```

...
#define DevPCF8583 0xA2          // adresa zařízení.
...

```

3.6.3 Základní funkce použité ve firmware mikrokontroléru

Jednou z nejdůležitějších částí firmware mikrokontroléru je proces měření teplot. Z tohoto důvodu jsou v programu použity knihovna *ds18x20.h* a zdrojový soubor *ds18x20.c*. Z dostupných funkcí jsou v programu použity funkce

```

static uint8_t search_sensors(void)
...
uint8_t DS18X20_read_decicelsius(uint8_t id[], int16_t*decicelsius)
...

```

První z funkcí vyhledá na sběrnici 1-wire dostupné senzory teploty a načte si jejich unikátní ROM kód. Druhá z funkcí načítá z paměti jednotlivých senzorů změřenou teplotu. Výstupem této funkce je celočíselná hodnota teploty [°C].

Další nezbytnou částí programu mikrokontroléru je komunikace s obvodem reálného času. Proto jsou v programu použity soubory *tw_lib.h* a *tw_lib.cz*. Tyto soubory zajišťují komunikaci mikrokontroléru se zařízeními umístěnými na sběrnici I2C. Mezi základní funkce patří inicializace sběrnice, která se provede příkazem

```

void i2c_init(void)
...

```

Po provedení inicializace sběrnice již mohou následovat další funkce

```

void i2c_start_wait(unsigned char address)
...
unsigned char i2c_write(unsigned char data)
...
unsigned char i2c_readAck(void)
...
void i2c_stop(void)
...

```

První z funkcí slouží pro zahájení I2C komunikace. Druhá funkce provádí zápis dat do obvodu reálného času a třetí z funkcí data z tohoto obvodu načítá. Pro ukončení I2C komunikace je určena čtvrtá funkce.

Pro možnost zobrazování naměřených hodnot a časových údajů, jsou v programu mikrokontroléru použity soubory *lcd_3wire.c* a *lcd_3wire.h*, které umožňují komunikaci mikrokontroléru s LCD displeji prostřednictvím posuvných registrů. Mezi základní funkce ovládání LCD1 patří

```
void lcd1_backlight(int)           // řízení podsvětlení
void lcd1_initialize(uint8_t,uint8_t,uint8_t) // inicializace
void lcd1_move_cursor(uint8_t, uint8_t)      // posun kurzoru
void lcd1_puts(const char *s)              // zobrazení pole znaků
void lcd1_clear()                       // vymazání obsahu paměti
...
```

Obdobné příkazy jsou i pro ovládání druhého displeje.

V neposlední řadě jsou důležitou součástí programu mikrokontroléru soubory důležité pro správnou komunikaci mikrokontroléru se zařízením Xport. Jedná se o soubory *uart.c*, *uart.h*, *uart_addon.c* a *uart_addon.h*. Z dostupných funkcí jsou v programu použity následující

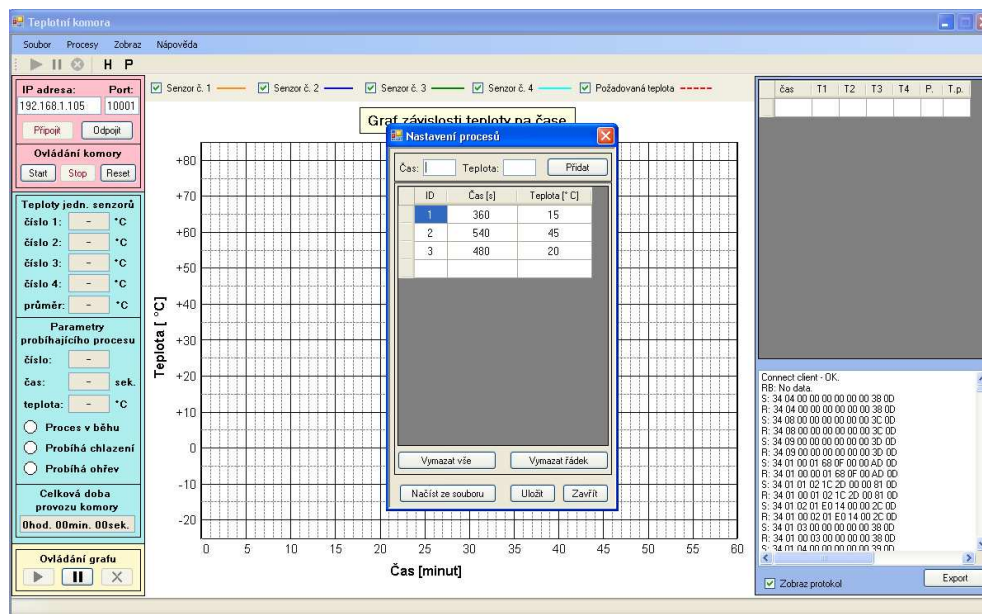
```
// inicializace a nastavení přenosové rychlosti
void uart_init(unsigned int baudrate)
// odeslání 1 bajtu
void uart_puthex_byte(const unsigned char b)
// odeslání řetězce (pole znaků)
void uart_puts(const char *s )
// načtení 1 bajtu
unsigned int uart_getc(void)
```

4 APLIKAČNÍ PROGRAM

Klientský software pro MS Windows umožňuje načítat data z teplotní komory a načtená data graficky zobrazit. Software dále řeší archivaci obdržených dat a uložení těchto dat do souboru. Nedílnou součástí je možnost nastavování jednotlivých procesů tepelné komory. Jedná se o aplikaci založenou na Windows Forms Microsoft Visual Studio 2008 a jako programovací jazyk C++ s využitím platformy .Net. Velikost okna aplikace je pevně daný rozměrem 1200 x 740 [pixelů].

4.1 Hlavní rysy aplikačního programu

Aplikace se obecně skládá ze čtyř základních částí. Levá část obrazovky obsahuje několik tlačítek a textových oken (polí). Tlačítka slouží pro připojení programu k teplotní komoře, odpojení programu od komory, spuštění a zastavení procesů a k ovládání grafické části programu. Střední část obrazovky vykresluje teplotní průběhy procesů. Pravá část obrazovky obsahuje tabulku naměřených hodnot a textové pole zobrazující průběh komunikace mezi aplikací a teplotní komorou. Samostatnou část programu jsou formuláře pro nastavování a zobrazování procesů teplotní komory. Grafické rozhraní aplikačního programu je uvedeno na následujícím obrázku (viz. obr. 4.1).



Obr. 4.1: Grafické prostředí aplikačního programu.

4.2 Popis komunikačního protokolu

Pro komunikaci teplotní komory s aplikačním programem je použit jednoduchý komunikační protokol. V komunikaci jsou použity 8bitové znaky v hexadecimálním tvaru. V běžném režimu bude teplotní komora automaticky vysílat naměřená data každých 10 sekund. Datová struktura je patrná z následující tabulky (viz. tab. 4.1).

Tab. 4.1: Význam jednotlivých bajtů automatického vysílání dat teplotní komory

Bajt č.:	Popis	Rozsah hodnot	Poznámka 1	Poznámka 2
1	Identifikátor	0x43		
2	Celková doba běhu komory [hod.]	0x00 - 0x3B		
3	Celková doba běhu komory [min.]	0x00 - 0x3B		
4	Celková doba běhu komory [sek.]	0x00 - 0x24		
5	Teplota snímače č. 1	0x0000 - 0xFFFF	Horní bajt (8. bit znaménko)	0xFFFF - chyba
6			Dolní bajt	
7	Teplota snímače č. 2	0x0000 - 0xFFFF	Horní bajt (8. bit znaménko)	0xFFFF - chyba
8			Dolní bajt	
9	Teplota snímače č. 3	0x0000 - 0xFFFF	Horní bajt (8. bit znaménko)	0xFFFF - chyba
10			Dolní bajt	
11	Teplota snímače č. 4	0x0000 - 0xFFFF	Horní bajt (8. bit znaménko)	0xFFFF - chyba
12			Dolní bajt	
13	Číslo běžícího procesu	0x00 - 0x64		
14	Odpočet času běžícího procesu	0x0000 - 0xFFFF	Horní bajt	
15			Dolní bajt	
16	Nastavená teplota běžícího procesu	0x00 - 0x94	Prvních 7 bitů je teplota, 8. bit znaménko	
17	Stav signalizačních LED	0x00 - 0xFF	1. bit PROCES	
			2. bit CHLAZENÍ	
			3. bit OHŘEV	
			4. bit Rezerva	
18	Rezerva	0x00		
19	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 18	
20	Zakončovací znak	0x0D		

Z důvodu možnosti ovládání komory, nastavení jednotlivých procesů a načtení jednotlivých procesů z prostředí klientského software, je komunikační protokol rozšířen o tyto instrukce (viz. tab. 4.2).

Tab. 4.2: Seznam jednotlivých instrukcí komunikačního protokolu

Kód instrukce	Popis instrukce
0x01	Nastavení jednotlivých procesů
0x02	Spuštění procesu
0x03	Zastavení procesu
0x04	Zastavení automatického posílání dat
0x05	Povolení automatického posílání dat
0x06	Vymazání jednotlivých procesů
0x07	Načtení jednotlivých procesů nastavených v komoře
0x08	Načtení aktuálního stavu komory
0x09	Zastavení měření teploty
0x0A	Povolení měření teploty

Každá instrukce se skládá z 10 bajtů. Obecná struktura je následující: 1 bajt identifikátoru, 1 bajt kódu instrukce, 6 bajtů upřesňujících dat, 1 bajt kontrolního součtu a 1 bajt zakončovacího znaku. Každá odpověď komory se rovněž skládá z 10 bajtů. Obecná struktura je následující: 1 bajt identifikátoru, 1 bajt kódu přijaté instrukce, 1 bajt informace o správném tvaru přijaté instrukce, 5 bajtů upřesňujících dat, 1 bajt kontrolního součtu a 1 bajt zakončovacího znaku. V následujících tabulkách (viz. tab. 4.3 až tab. 4.22) jsou popsány významy jednotlivých bajtů jednotlivých instrukcí a datové formáty odpovědí komory.

Tab. 4.3: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x01

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x01	
3	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
4	Doba trvání procesu	0x0001 - 0xFFFF	Horní bajt
5			Dolní bajt
6	Teplota procesu	0x00 - 0x94	Prvních 7 bitů je teplota, 8. bit znaménko
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x01	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.4: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x01

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x01	
3	Potvrzení instrukce	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
5	Doba trvání procesu	0x0001 - 0xFFFF	Horní bajt
6			Dolní bajt
7	Teplota procesu	0x00 - 0x94	Prvních 7 bitů je teplota, 8. bit znaménko
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.5: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x02

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x02	
3	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.6: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x02

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x02	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
5	Doba trvání procesu	0x0001 - 0xFFFF	Horní bajt
6			Dolní bajt
7	Teplota procesu	0x00 - 0x94	Prvních 7 bitů je teplota, 8. bit znaménko
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.7: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x03

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x03	
3	Rezerva	0x00	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.8: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x03

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x03	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.9: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x04

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x04	
3	Rezerva	0x00	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.10: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x04

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x04	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.11: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x05

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x05	
3	Rezerva	0x00	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.12: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x05

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x05	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6			
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.13: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x06

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x06	
3	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
4	Doba trvání procesu	0x0000	Horní bajt
5			Dolní bajt
6	Teplota procesu	0x00	Prvních 7 bitů je teplota, 8. bit znaménko
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.14: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x06

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x06	
3	Potvrzení instrukce	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
5	Doba trvání procesu	0x0000	
6			
7	Teplota procesu	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.15: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x07

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x07	
3	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.16: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x07

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x07	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Číslo procesu	0x01 - 0x64	
5	Doba trvání procesu	0x0001 - 0xFFFF	Horní bajt
6			Dolní bajt
7	Teplota procesu	0x00 - 0x94	Prvních 7 bitů je teplota, 8. bit znaménko
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.17: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x08

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x08	
3	Rezerva	0x00	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.18: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x08

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x08	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Číslo procesu	0x00 - 0x64	0x00 - neběží žádný proces
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.19: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x09

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x09	
3	Rezerva	0x00	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.20: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x09

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x09	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.21: Význam jednotlivých bajtů instrukce 0x0A

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x0A	
3	Rezerva	0x00	
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

Tab. 4.22: Význam jednotlivých bajtů odpovědi komory na instrukci 0x0A

Bajt č.:	Popis bajtu	Rozsah hodnot	Poznámka
1	Identifikátor	0x34	
2	Kód instrukce	0x0A	
3	Potvrzení dotazu	0x00	Vše v pořádku
		0x01	Chyba v identifikátoru nebo v instrukci
		0x02	Chyba v kontrolním součtu
4	Rezerva	0x00	
5	Rezerva	0x00	
6	Rezerva	0x00	
7	Rezerva	0x00	
8	Rezerva	0x00 - 0x94	
9	Kontrolní součet	0x00 - 0xFF	Součet bajtů 1 až 8
10	Zakončovací znak	0x0D	

5 KONSTRUKCE TEPLOTNÍ KOMORY

Jak již bylo uvedeno, testovací teplotní komora se skládá ze dvou hlavních částí. První částí je samotná komora, která je vytvořena z upravené autoledničky o rozměrech 420 x 200 x 300 [mm]. Vnitřní část autoledničky o rozměrech 345 x 95 x 185 [mm] je od vnějšího obalu odizolována pěnovým polystyrenem. Z vnější strany čelního panelu vnitřní části jsou připevněny Peltierovy články, na jejichž druhou stranu je připevněn chladič s ventilátory. Vzniklý prostor kolem článků je vyplněn pěnovým polystyrenem o tloušťce 4 mm. U jednotlivých spojů je použita teplovodní pasta. Na boční stěny vnitřního prostoru jsou umístěny senzory teploty a k hornímu víku jsou připevněny dva ventilátory. Horní víko je navíc opatřeno otvorem pro nahlížení do komory během provozu a levé boční víko je opatřeno průchodkou. Jednotlivé desky plošných spojů jsou umístěny v plastovém boxu o rozměrech 225 x 120 x 200 [mm]. V čelním panelu jsou umístěny LCD displeje, ovládací tlačítka, otočný mechanický snímač polohy, signalizační luminiscenční diody, konektory pro připojení komory a konektor pro připojení řídicí jednotky do sítě Ethernet. Význam jednotlivých pinů datového konektoru je uveden v následující tabulce (viz. tab. 5.1).

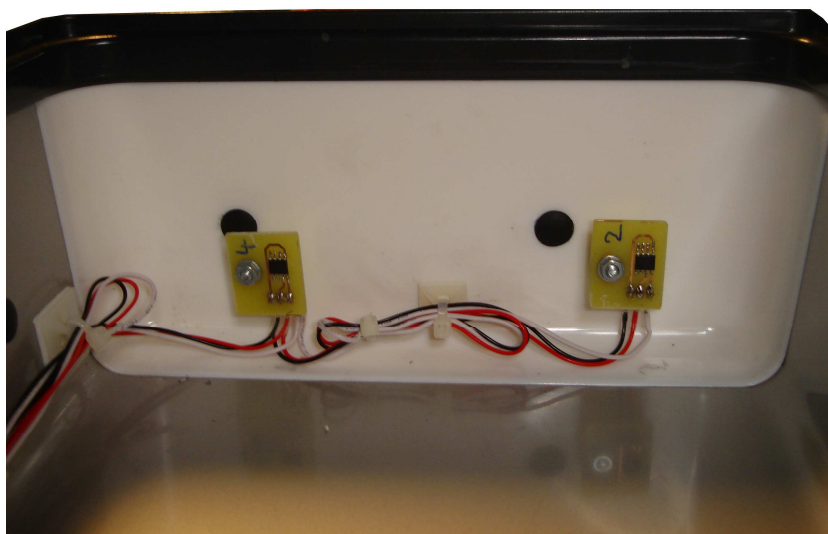
Tab. 5.1: Význam jednotlivých pinů datového konektoru

Pin č.:	Popis
1	Datová sběrnice senzorů teploty
2	Napájení senzorů teploty (+ 5 V)
3	GND
4	Nepožito
5	Nepoužito
6	Napájení ventilátorů v komoře
7	GND
8	Napájení ventilátorů na chladiči Peltierových článků
9	GND

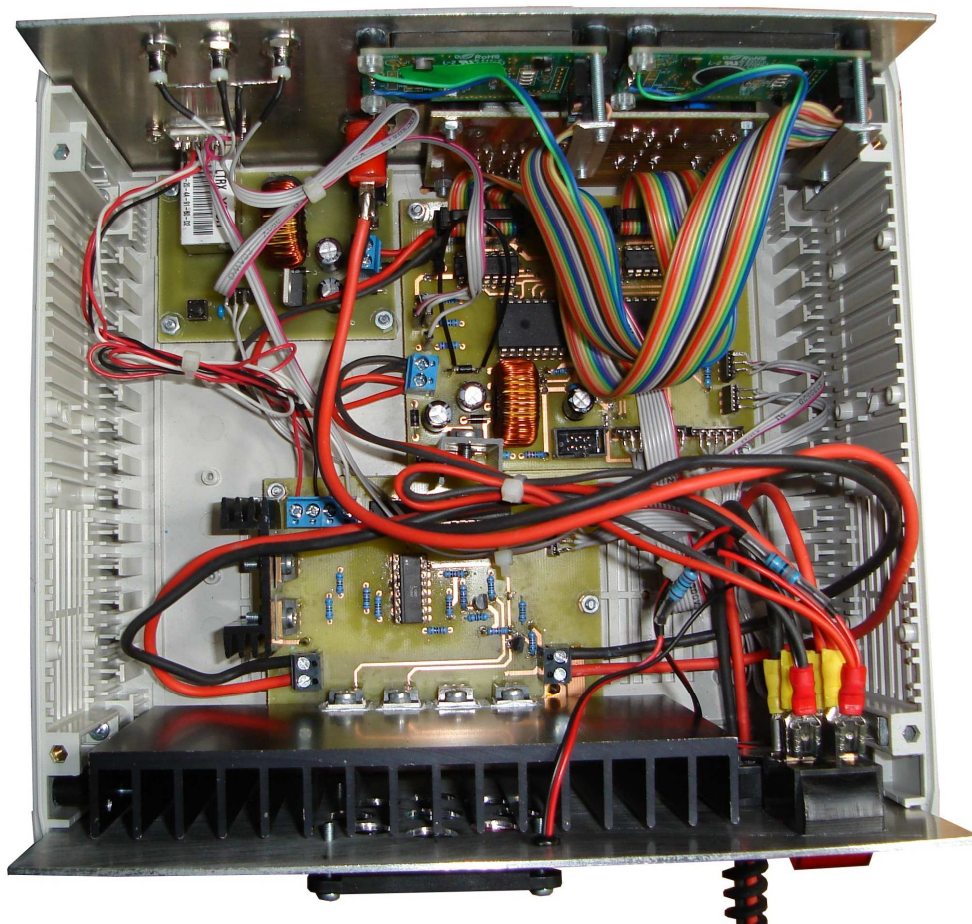
Na zadním panelu jsou umístěny vypínač a ventilátory pro vhánění vzduchu na chladič H-můstku a do vnitřního prostoru boxu. Součástí zadního panelu jsou i přívodní vodiče k napájení teplotní komory. Konstrukce teplotní komory je patrná z následujících obrázků (viz. obr. 5.1 až obr. 5.5).



Obr. 5.1: Celkový pohled na konstrukci teplotní testovací komory



Obr. 5.2: Detailní pohled na umístění teplotních senzorů v teplotní komoře



Obr. 5.3: Pohled na umístění na umístění jednotlivých DPS v boxu řídicí jednotky



Obr. 5.4: Pohled na čelní panel boxu řídicí jednotky



Obr. 5.5: Pohled na zadní panel boxu řídicí jednotky

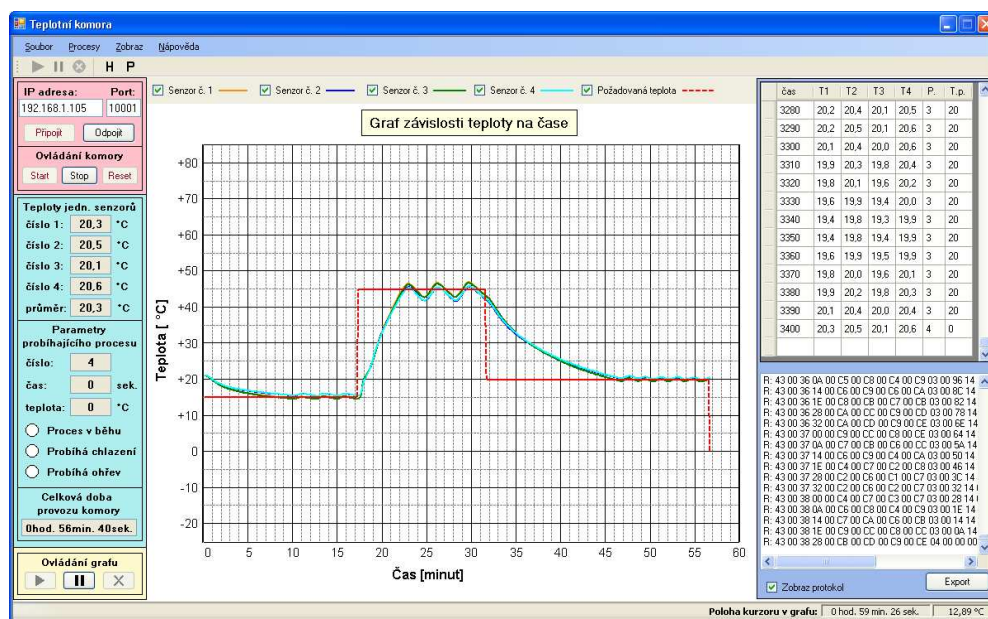
6 FUNKČNÍ ZKOUŠKA KOMORY

Během provádění funkčních zkoušek se projeví nedostatky v mechanické konstrukci komory. Při dlouhodobém běhu komory na maximální výkon v režimu chlazení, byla docílená teplota 9 °C. Oproti tomu, při maximálním výkonu v režimu ohřívání, začalo při teplotě 70 °C docházet k mechanickému poškození plastových částí komory. Správná funkčnost řídicí jednotky byla prověřena nastavením třech procesů s následujícími parametry (viz. tab. 6.1) a byla prováděna při teplotě okolí 25 °C.

Tab. 6.1: Parametry nastavených procesů funkční zkoušky teplotní komory

Pořadové číslo procesu č.:	Požadovaná délka trvání procesu [s]	Požadovaná teplota procesu [°C]
1	420	15
2	540	45
3	600	20

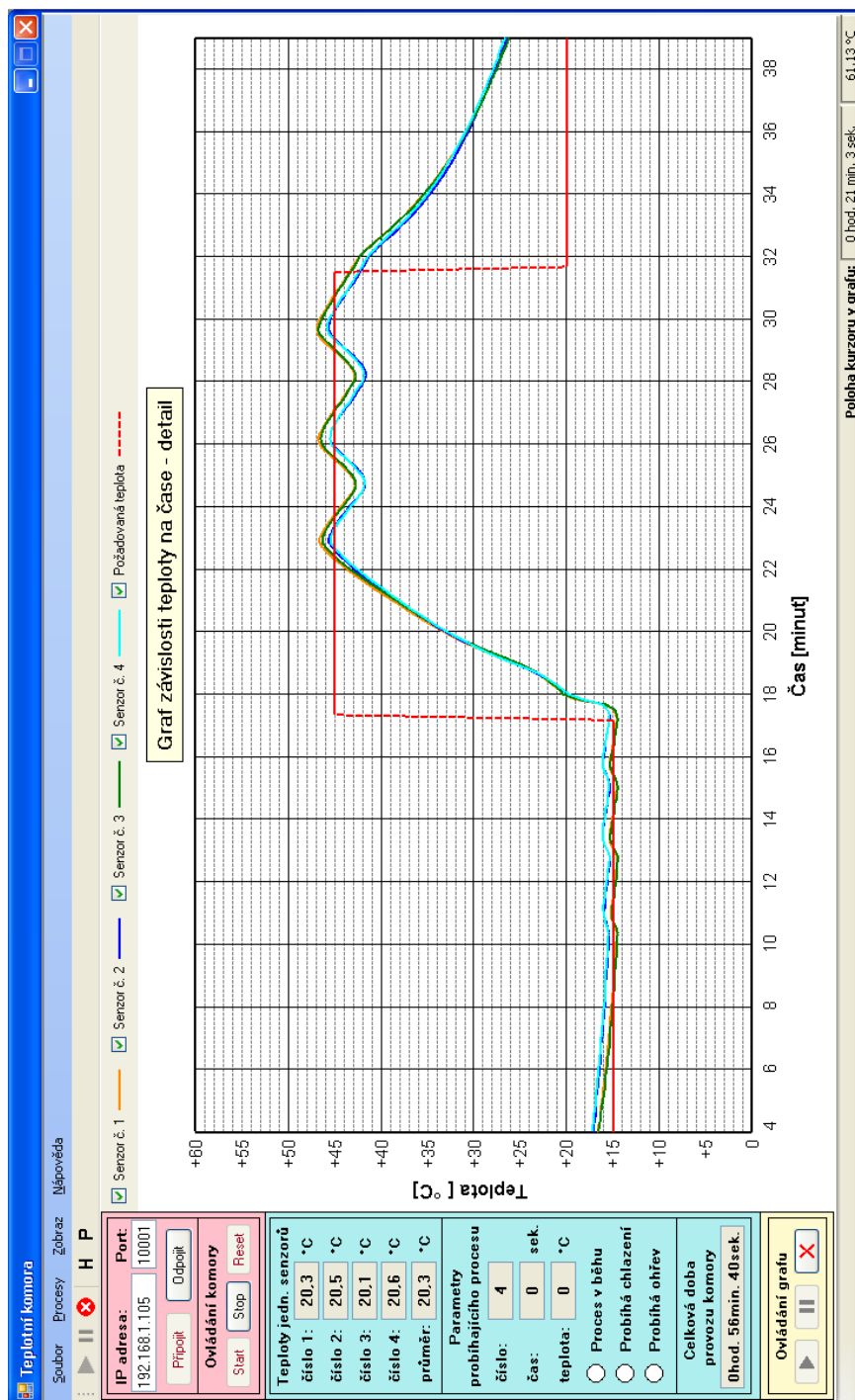
Jednotlivé procesy byly nastaveny z aplikačního programu, který byl současně použit i pro monitorování průběhů. Dosažené výsledky jsou patrné z následujícího obrázku (viz. obr. 6.1).



Obr. 6.1: Grafické zobrazení průběhu funkční zkoušky.

Z grafického zobrazení průběhu procesů je patrné, že požadovaná teplota procesu č. 1 byla docílena po 10 minutách a 15 sekundách. Během této doby probíhalo chlazení vnitřního prostoru komory. Po docílení přednastavené teploty byl zahájen odpočet času procesu a komora během tohoto času udržovala teplotu na požadované úrovni (viz. obr. 6.2). Po uplynutí přednastavené doby trvání procesu, komora zahájila proces ohřevu na požadovanou teplotu procesu č. 2. Požadovaná teplota byla docílena po uplynutí 5 minut a 15 sekund. Opět byl zahájen odpočet času a po jeho uplynutí přešla

komora k následujícímu. Teplota procesu číslo 3 byla dosažena po 14 minutách a 35 sekundách. Celková doba běhu komory byla 56 minut a 30 sekund.



Obr. 6.2: Detail průběhu procesů 1 a 2.

7 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je návrh a zkonstruování malé teplotní komory s využitím Peltierových článků. V úvodní části práce je proveden teoretický rozbor senzorů teploty vhodných pro realizaci komory. Po uvážení všech aspektů byl jako teplotní senzor zvolen produkt DS18B20Z. Další část práce se zabývá principem a využitím Peltierových článků pro vytápění/chlazení. Byly stanoveny základní podmínky pro volbu vhodných článků pro realizaci komory.

Na základě teoretických poznatků jsem navrhnul obvodová zapojení jednotlivých částí teplotní komory včetně desek plošných spojů. Jako řídicí prvek jsem použil mikroprocesor Atmega16 a na základě popsaného řídicího algoritmu jsem vytvořil řídicí firmware mikrokontroléru. Jako vývojové prostředí jsem použil AVR Studio 5 a program jsem napsal v jazyce C.

Pro možnost ovládání a řízení teplotní komory jsem napsal aplikační program s grafickým rozhraním. Tento program byl napsán v jazyce C++ a byl vytvořen v prostředí Microsoft Visual Studio 2008. Pro komunikaci programu s teplotní komory jsem navrhl vlastní komunikační protokol.

Po osazení a oživení jednotlivých desek plošných spojů a po mechanickém zkonstruování komory, jsem provedl několik funkčních zkoušek. Bohužel se během těchto zkoušek projeví závažné nedostatky, na základě kterých lze stanovit, že teplotní komora nesplňuje základní požadované parametry. Teplota je schopna docílit minimální teploty 9 °C a oproti požadovaným – 20 °C. Domnívám se, že hlavní příčinou tohoto nezdaru je v mechanické konstrukci samotné komory (upravené autoledničky). Tyto nedostatky jsou zejména ve způsobu upevnění Peltierových článků, kde mezi chladičem a jednotlivými články je pouze izolační pěnový polystyren o tloušťce 4 mm, který pravděpodobně nezabraňuje přenosu vyzářené energie (tepla) zpět do komory. Změnou způsobu upevnění Peltierových článků ke chladiči, tj. zvětšením izolační vzdálenosti, by pravděpodobně došlo k výraznému zamezení tohoto nežádoucího jevu. Dalším možným důvodem nezdaru je nedostatečný odvod tepla z chladiče. I přes použití dvou výkonných ventilátorů, se chladič značně zahříval. Řešením by bylo použít efektivnější způsob odvodu tepla z chladiče, například přídavným vodním chlazením.

Závěrem se dá říci, že teplotní komoru lze úspěšně používat pro pracovní rozsah teplot od 10 °C do 60 °C.

Literatura

- [1] KREIDL, M. Měření teploty – senzory a měřící obvody. Praha: BEN – technická literatura, 2005.
- [2] HRBÁČEK, J. Komunikace mikrokontroléru s okolím 2.díl. Praha: BEN – technická literatura, 2000.
- [3] Maxim Innovation Delivered [online]. DS18B20, 2012 – [cit. 1. dubna 2012]. Dostupné na www: <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2812>.
- [4] Encyklopedie fyziky [online]. Peltierův jev, 2011 [cit. 24. dubna 2012]. Dostupné na www: <http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=911>.
- [5] GM electronic [online]. Elektronické součástky, 2012 – [cit. duben 2012]. Dostupné na www: <http://www.gme.cz/cz/elektronicke-soucastky/>.
- [6] Lantronix [online]. XPort, 2011 [cit. 24. dubna 2012]. Dostupné na www: <http://www.lantronix.com/device-networking/embedded-device-servers/xport.html>.
- [7] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléru ATMEL AVR ATmega16 4. díl. Praha: BEN – technická literatura, 2006.
- [8] ON Semiconductors [online]. LM2576, 2012 – [cit. 1. května 2012]. Dostupné na www: <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/Products.do?id=LM2576>.
- [9] Elektronické součástky | GES-ELECTRONICS [online]. Elektronické součástky, 2012 – [cit. listopad 2011]. Dostupné na www: <http://www.ges.cz/cz/elektronicke-soucastky/M01.html>.
- [10] HW.cz [online]. 2012 [cit. 1.května 2012]. Peltierovy termobaterie 2. Dostupné na www: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/peltierovy-termobaterie-2.html>.
- [11] Peter Fleury's Home page [online]. 2012 [cit. leden 2012]. Dostupné na www: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/index.html>.
- [12] ŠTAFFA, J. *Jednofázový pulsní měnič DC/AC s digitálním řízením*. Diplomová práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [13] International Rectifier – The Power Management Leader [online]. 2012 [cit. březen 2012]. Dostupné na www: <http://www.irf.com/indexsw.html>.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

n	Koncentrace nosičů náboje
ΔE	Šířka mezery mezi energetickými hladinami
k	Boltzmannova konstanta
σ	Konduktivita
e	Elementární náboj
n_i	Vlastní koncentrace nosičů nábojů
n	Koncentrace nábojů
p	Koncentrace děr
μ_n	Pohyblivost elektronů
μ_p	Pohyblivost děr
U_D	Napětí na PN přechodu diody v propustném směru
I_S	Saturační proud PN přechodu diody v závěrném směru
I_D	Saturační proud PN přechodu diody v propustném směru
m	Rekombinační koeficient polovodiče
U_T	Teplotní napětí
T	Termodynamická teplota
U_{BE}	Napětí přechodu báze – emitor
I_C	Proud tekoucí kolektorem tranzistoru
Q_s	Odváděný tepelný výkon na chladné straně Peltierova článku
T_s	Teplota chladné strany Peltierova článku
I_{Pe}	Hodnota proudu tekoucí Peltierovým článkem
α	Termoelektrické napětí Peltierova článku
R_{Pe}	Vnitřní odpor Peltierova článku
Q_h	Uvolněný tepelný výkon na teplé straně Peltierova článku
T_h	Teplota teplé strany Peltierova článku
Q_j	Jouleovo teplo
Q_v	Teplo přecházející z teplé strany Peltierova článku na chladnou
ΔT	Teplotní rozdíl mezi teplotou a studenou stranou Peltierova článku
K	Tepelná vodivost Peltierova článku
S	Průřez polovodičových sloupků Peltierova článku
L	Délka sloupků Peltierova článku
λ_1, λ_2	Tepelné vodivosti polovodičových sloupků Peltierova článku

n_{Pe}	Počet článků v Peltierově baterii
Q_{Pe}	Chladicí výkon Peltierovy baterie
P_{Pe}	Příkon Peltierova článku
Q_{ch}	Celkový vyzařovaný výkon Peltierova článku
ε_{Pe}	Účinnost chlazení Peltierova článku
I_{max}	Maximální proud protékající Peltierovým článkem
U_{max}	Maximální napájecí napětí Peltierova článku
ΔT_{max}	Maximální teplotní rozdíl na Peltierově článku
Q_{max}	Maximální chladicí výkon Peltierova článku
U_{DS}	Maximální napětí v závěrném směru tranzistoru
I_D	Maximální proud v propustném směru tranzistoru
$R_{DS(ON)}$	Odpor přechodu DS tranzistoru v sepnutém stavu
t_{on}	Zapínací doba tranzistoru
t_{off}	Vypínací doba tranzistoru
R_{vjc}	Vnitřní tepelný odpor tranzistoru
R_{ucs}	Tepelný odpor styku tranzistoru s chladičem
T_{Jmax}	Maximální teplota pouzdra tranzistoru
T_J	Provozní teplota pouzdra tranzistoru
T_0	Provozní teplota okolí
P_{UST}	Ztráty v ustáleném stavu tranzistoru
$P_{P\check{R}}$	Přepínací ztráty tranzistoru
P_{ZTR}	Celkové tepelné ztráty tranzistoru
I_{ef}	Efektivní hodnota proudu
U_{CC}	Napájecí napětí teplotní komory
R_{pas}	Tepelný odpor teplovodní pasty
R_{iz}	Tepelný odpore izolační podložky
R_H	Tepelný odpor chladiče
U_{out}	Výstupní napětí
U_{ref}	Referenční napětí
U_{in}	Napájecí napětí
V_{DD}	Napájecí napětí senzoru
GND	Zem
DQ	Datový vstup / výstup pro připojení k 1-wire sběrnici
$N.C.$	Nezapojený vývod
VSS	Zem

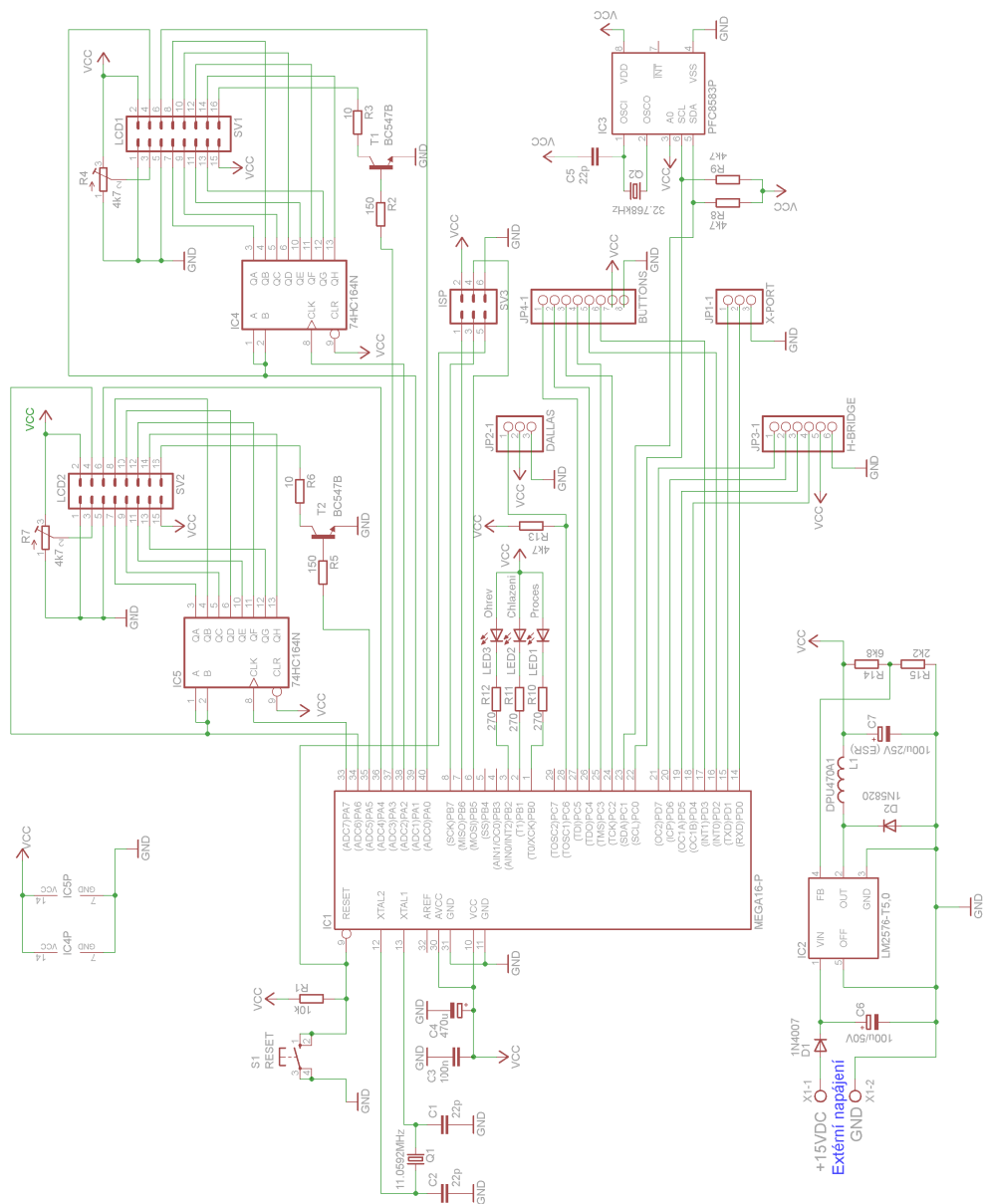
<i>VDD</i>	Napájecí napětí +5 V
<i>VEE</i>	Nastavení kontrastu
<i>RS</i>	Registr select
<i>R/W</i>	Read / write
<i>E</i>	Enable
<i>DB0 - DB7</i>	Data bits
<i>LED A</i>	LED podsvícení (Anoda)
<i>LED B</i>	LED podsvícení (Katoda)
<i>DSA</i>	Data input
<i>DSB</i>	Data input
<i>Q0 – Q7</i>	Data output
<i>CP</i>	Clock input
<i>MR</i>	Master reset input
<i>VCC</i>	Napájecí napětí +5 V
<i>AVR</i>	Mikrokontrolér
<i>PWM</i>	Pulzně šířková modulace
<i>MOSFET</i>	Unipolární tranzistor
<i>FB</i>	Vstup pro zpětnou vazbu
<i>ON/OFF</i>	Zapnutí/vypnutí
<i>VIN</i>	Napájecí vstupní napětí
<i>OUT</i>	Výstupní napětí
<i>DPS</i>	Deska plošného spoje
<i>LED</i>	Luminiscenční dioda

Seznam příloh

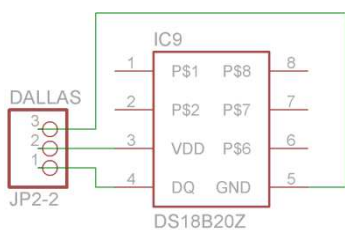
A	Návrh zařízení	49
A.1	Obvodové zapojení mikrokontroléru	49
A.2	Obvodové zapojení snímače DS18B20Z.....	49
A.3	Obvodové zapojení Xportu	50
A.4	Obvodové zapojení tlačítek	50
A.5	Obvodové zapojení H-můstku	51
A.6	Deska plošného spoje mikrokontroléru – top (strana součástek)	52
A.7	Deska plošného spoje mikrokontroléru – bottom (strana spojů)	52
A.8	Deska plošného spoje XPortu – bottom (strana spojů).....	53
A.9	Deska plošného spoje H-můstku – top (strana součástek).....	53
A.10	Deska plošného spoje H-můstku – bottom (strana spojů)	54
A.11	Deska plošného spoje ovládacího/signalizačního panelu – bottom (strana spojů).....	54
A.12	Deska plošného spoje senzorů teplot – top (strana součástek)	55
B	Seznam součástek	56
B.1	Seznam součástek mikrokontroléru	56
B.2	Seznam součástek Xportu	57
B.3	Seznam součástek H-můstku	57
B.4	Seznam součástek ovládacího/signalizačního panelu.....	58
B.5	Seznam ostatních součástek.....	59
C	Návod pro obsluhu teplotní komory	60
C.1	Význam jednotlivých prvků na čelním panelu	61
C.2	Význam jednotlivých prvků na zadním panelu	61
C.3	Význam jednotlivých LED	61
C.4	Standardní režim	61
C.5	Konfigurační režim	62
C.6	Spuštění a zastavení procesu.....	63
D	Návod pro obsluhu aplikačního programu PRO PC	64
D.1	Hlavní okno.....	64
D.2	Procesy.....	65
	Obsah přiloženého CD nosiče	67

A Návrh zařízení

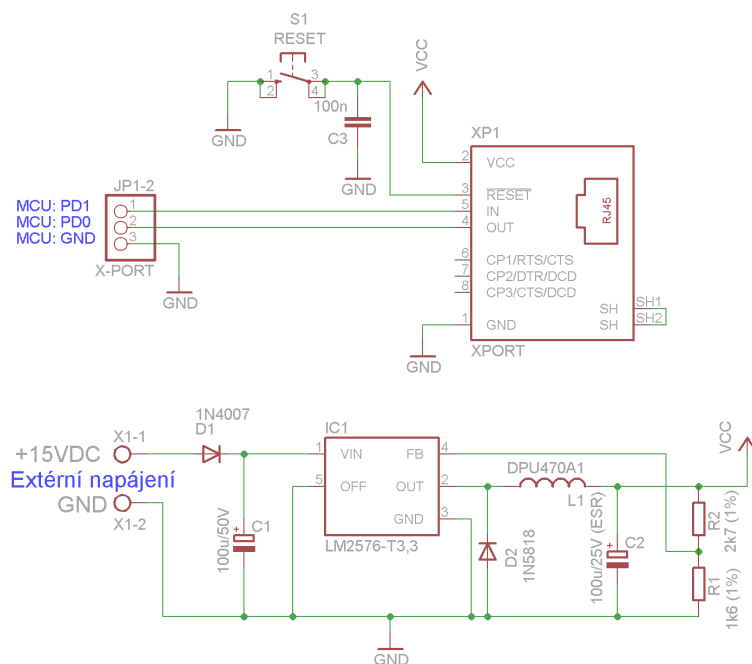
A.1 Obvodové zapojení mikrokontroléru



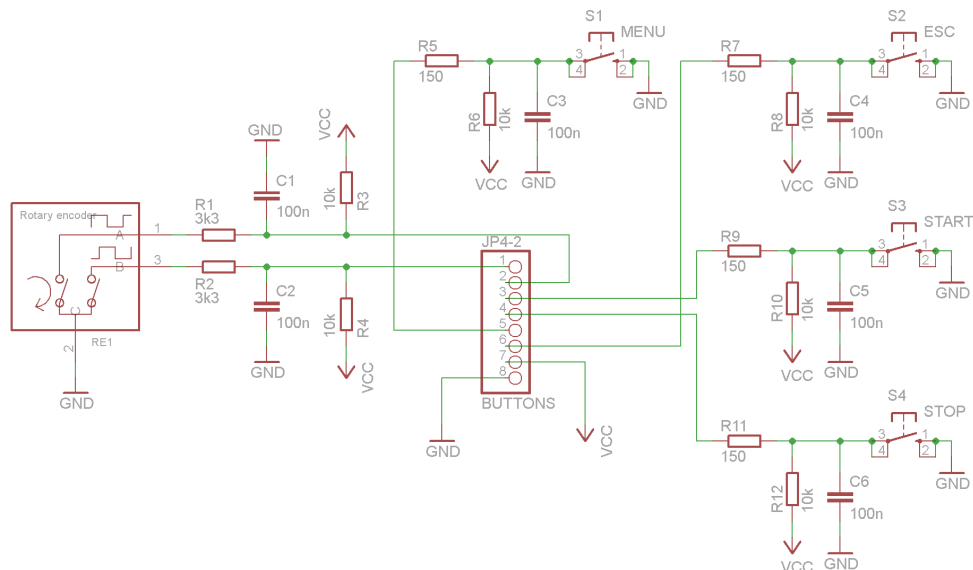
A.2 Obvodové zapojení snímače DS18B20Z



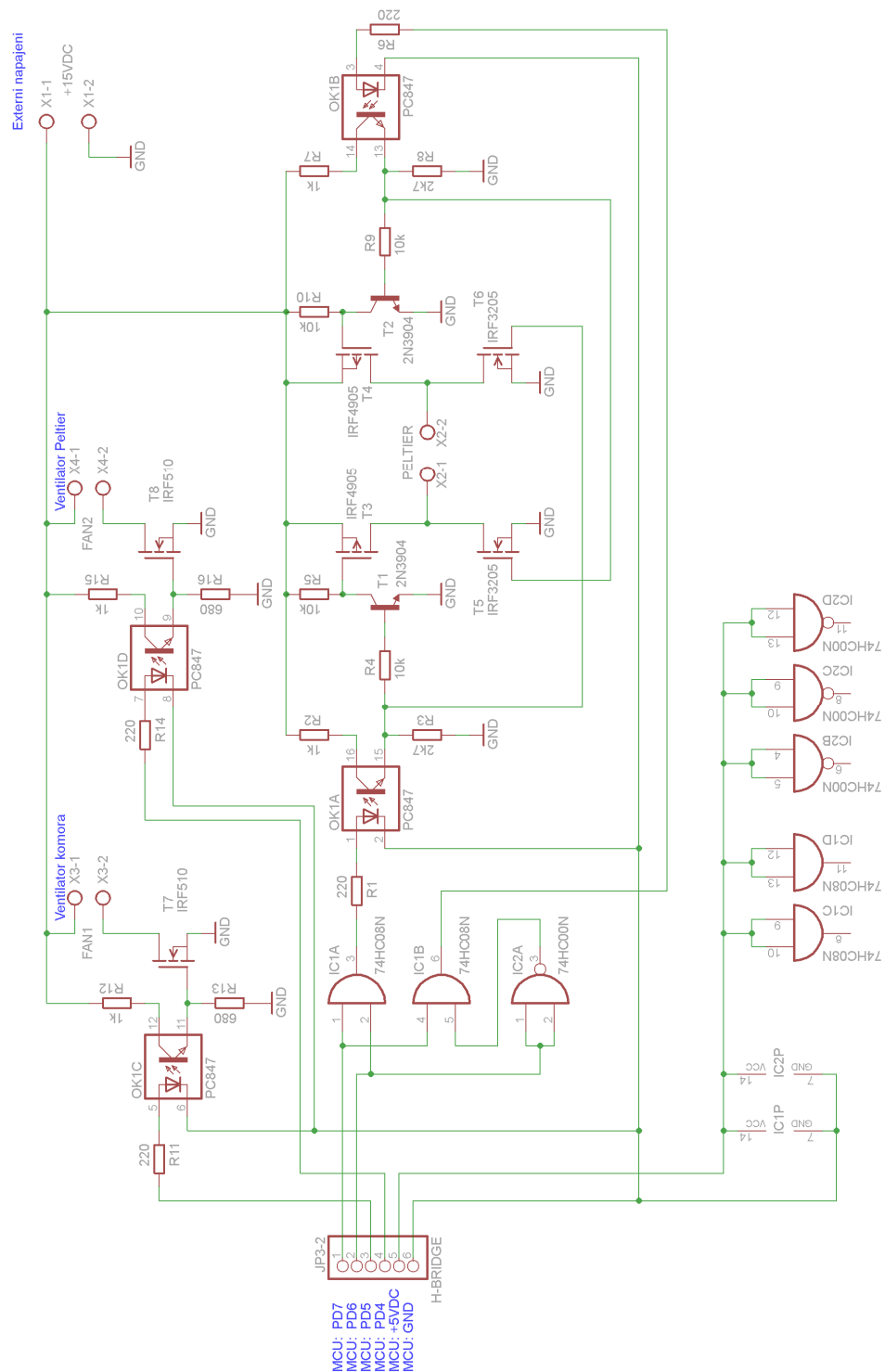
A.3 Obvodové zapojení Xportu



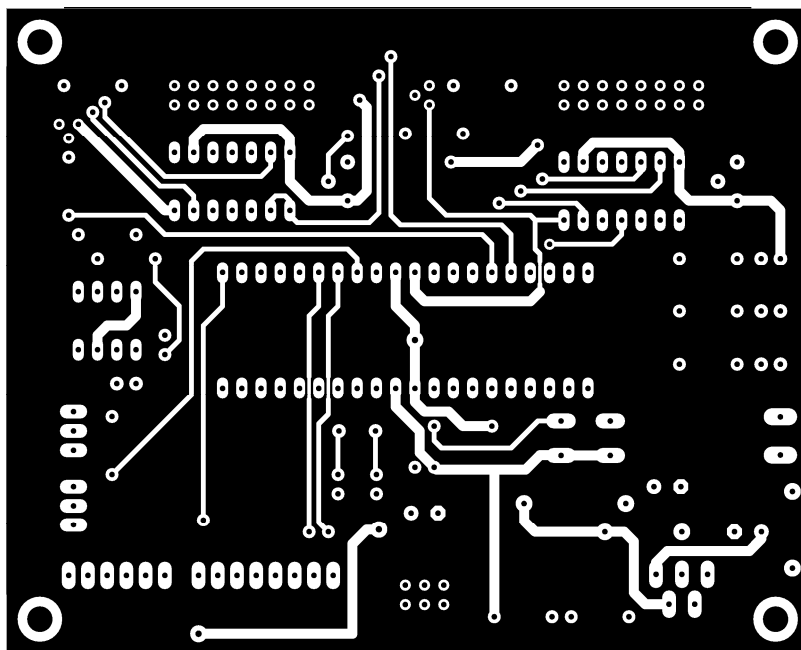
A.4 Obvodové zapojení tlačítek



A.5 Obvodové zapojení H-můstku

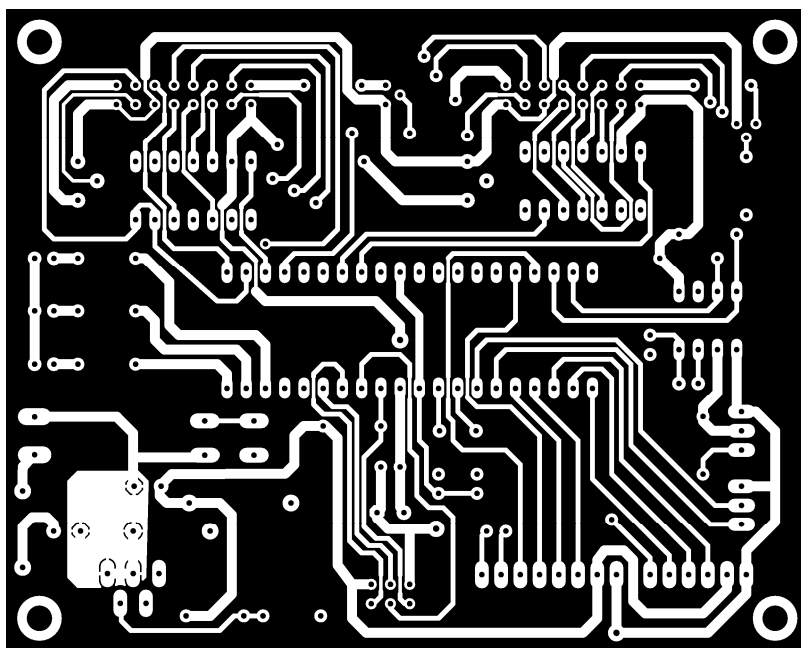


A.6 Deska plošného spoje mikrokontroléru – top (strana součástek)



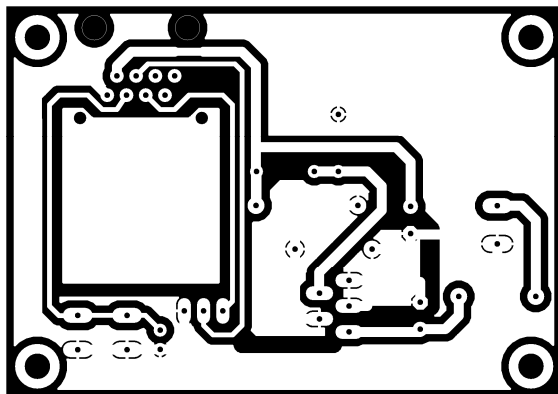
Rozměr desky 106 x 85 [mm], měřítko M1:1

A.7 Deska plošného spoje mikrokontroléru – bottom (strana spojů)



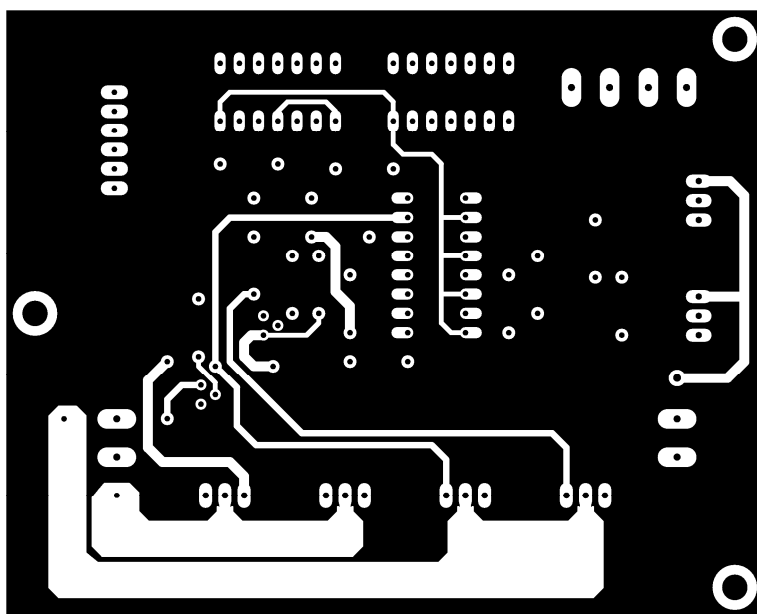
Rozměr desky 106 x 85 [mm], měřítko M1:1

A.8 Deska plošného spoje XPortu – bottom (strana spojů)



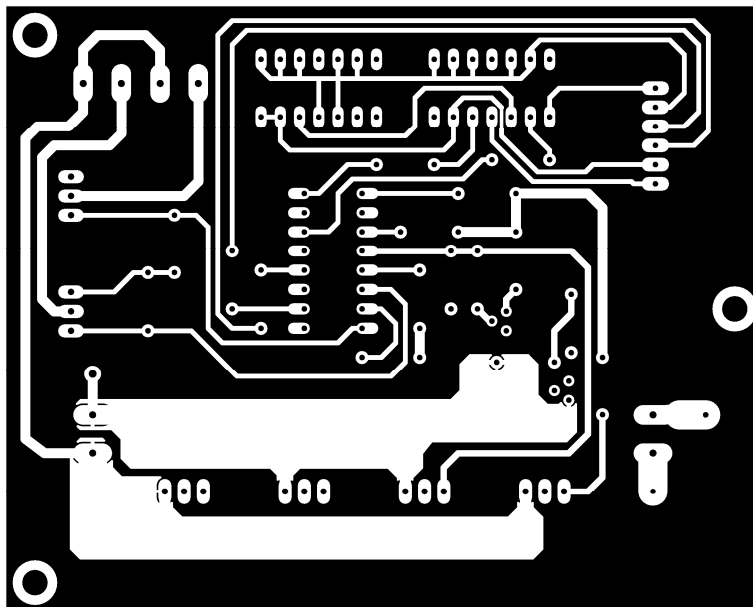
Rozměr desky 73 x 52 [mm], měřítko M1:1

A.9 Deska plošného spoje H-můstku – top (strana součástek)



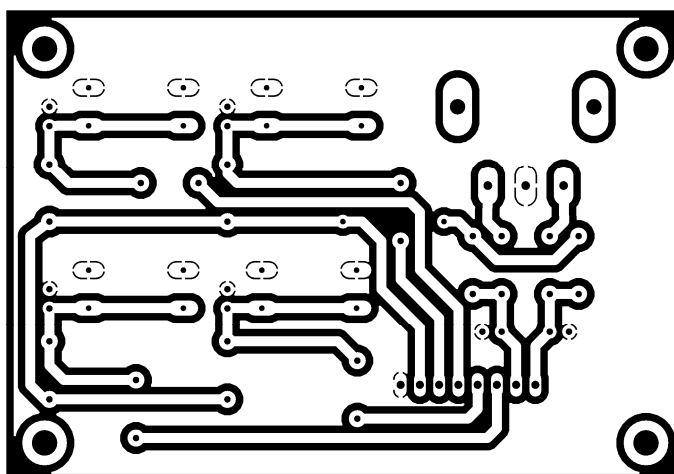
Rozměr desky 100 x 80 [mm], měřítko M1:1

A.10 Deska plošného spoje H-můstku – bottom (strana spojů)



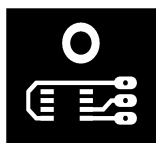
Rozměr desky 100 x 80 [mm], měřítko M1:1

A.11 Deska plošného spoje ovládacího/signalizačního panelu – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 100 x 80 [mm], měřítko M1:1

A.12 Deska plošného spoje senzorů teplot – top (strana součástek)



Rozměr desky 20 x 18 [mm], měřítko M1:1

B Seznam součástek

B.1 Seznam součástek mikrokontroléru

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	22p	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C2	22p	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C3	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C4	470u/16V	E3,5-8	Elektrolytický kondenzátor
C5	22p	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C6	100u/50V	E3,5-8	Elektrolytický kondenzátor
C7	100u/25V	E3,5-8	Elektrolytický kondenzátor
D1	1N4007	DO41-10	Univerzální dioda
D2	1N5818	DO41-10	Schottkyho dioda
IC1	ATmega16-16PU	DIL40	Mikrokontrolér
IC2	LM2576HV-ADJ	TO220-5	DC/DC měnič
IC3	PCF8583P	DIP8	Obvod RTC
IC4	74HC164	DIP14	8bitový posuvný registr
IC5	74HC164	DIP14	8bitový posuvný registr
JP1-1	X-PORT	1X03	Propojka
JP2-1	DALLAS	1X03	Propojka
JP3-1	H-BRIDGE	1X06	Propojka
JP4-1	BUTTONS	1X06	Propojka
L1	470u	IR-4	Tlumivka DPU470A1
LED1	Provoz		Luminiscenční dioda
LED2	Chlazení		Luminiscenční dioda
LED3	Ohrev		Luminiscenční dioda
Q1	11,0592 MHz	HC49U-V	Krystal
Q2	32,768 kHz	TC26V	Krystal
R1	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R2	150	0207/7	Metalizovaný rezistor
R3	10	0207/7	Metalizovaný rezistor
R4	4,7k	RTRIM64Y	Rezistorový trimr
R5	150	0207/7	Metalizovaný rezistor
R6	10	0207/7	Metalizovaný rezistor
R7	4,7k	RTRIM64Y	Rezistorový trimr
R8	4,7k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R9	4,7k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R10	270	0207/7	Metalizovaný rezistor
R11	270	0207/7	Metalizovaný rezistor
R12	270	0207/7	Metalizovaný rezistor
R13	4,7k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R14	6,8k	0207/7	Metalizovaný rezistor

R15	2,2k	0207/7	Metalizovaný rezistor
S1	RESET	B3F-10XX	Mikrospínač
SV1	LCD1	ML16	Konektor
SV2	LCD2	ML16	Konektor
SV3	ISP	ML6	Konektor
T1	BC547B	TO92	Bipolární tranzistor
T2	BC547B	TO92	Bipolární tranzistor
X1	Externí napájení	ARK300/2	Konektor

B.2 Seznam součástek Xportu

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100u/50V	E3,5-8	Elektrolytický kondenzátor
C2	220u/25V	E3,5-8	Elektrolytický kondenzátor
C3	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
D1	1N4007	DO41-10	Univerzální dioda
D2	1N5818	DO41-10	Schottkyho dioda
IC1	LM2576HV-ADJ	TO220-5	DC/DC měnič
JP1-2	X-PORT	1X03	Propojka
L1	470u	IR-4	Tlumivka DPU470A1
R1	1,6k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R2	2,7k	0207/7	Metalizovaný rezistor
S1	RESET	B3F-10XX	Mikrospínač
X1	Externí napájení	ARK300/2	Konektor
XP1	XPORT		XPort Lantronix

B.3 Seznam součástek H-můstku

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	74HC08	DIP14	Logický obvod AND
IC2	74HC00	DIP14	Logický obvod NAND
JP3-2	H-BRIDGE	1X06	Propojka
OK1	PC747	DIP16	Optočlen
R1	220	0207/7	Metalizovaný rezistor
R2	1k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R3	2,7k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R4	10k	RTRIM64Y	Rezistorový trimr
R5	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R6	220	0207/7	Metalizovaný rezistor
R7	1k	RTRIM64Y	Rezistorový trimr
R8	2,7k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R9	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R10	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R11	220	0207/7	Metalizovaný rezistor

R12	1k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R13	680	0207/7	Metalizovaný rezistor
R14	220k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R15	1k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R16	680	0207/7	Metalizovaný rezistor
T1	2N3904	TO92	Bipolární tranzistor
T2	2N3904	TO92	Bipolární tranzistor
T3	IRF4905	TO220AB	Unipolární tranzistor
T4	IRF4905	TO220AB	Unipolární tranzistor
T5	IRF3205	TO220AB	Unipolární tranzistor
T6	IRF3205	TO220AB	Unipolární tranzistor
T7	IRF510	TO220AB	Unipolární tranzistor
T8	IRF510	TO220AB	Unipolární tranzistor
X1	Externí napájení	ARK300/2	Konektor
X2	PELTIER	ARK500/2	Konektor
X3	FAN1	ARK500/2	Konektor
X4	FAN2	ARK500/2	Konektor

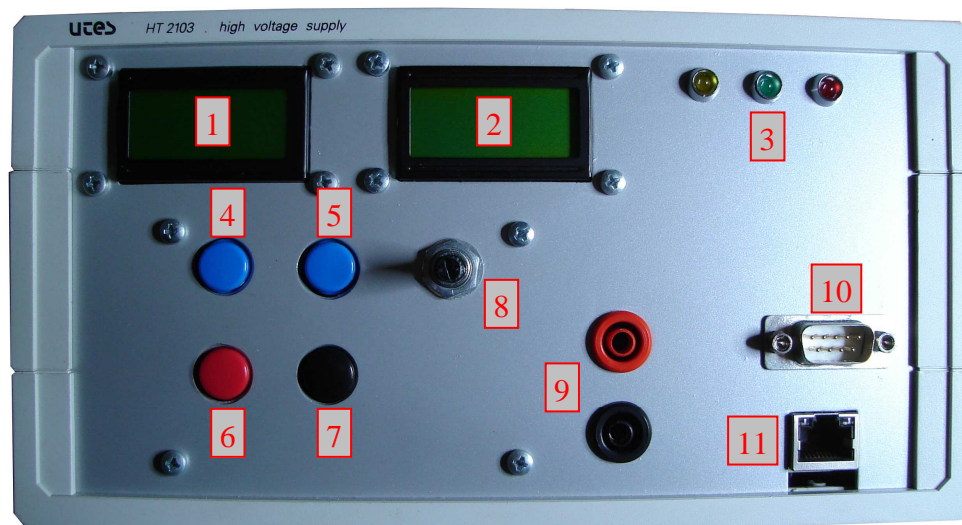
B.4 Seznam součástek ovládacího/signalizačního panelu

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C2	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C3	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C4	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
C5	100n	C025-030X050	Keramický kondenzátor
JP4-2	BUTTONS	1X08	Propojka
R1	3,3k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R2	3,3k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R3	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R4	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R5	150	0207/7	Metalizovaný rezistor
R6	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R7	150	0207/7	Metalizovaný rezistor
R8	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R9	150	0207/7	Metalizovaný rezistor
R10	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
R11	150	0207/7	Metalizovaný rezistor
R12	10k	0207/7	Metalizovaný rezistor
RE1	Rotary encoder	EC12	Mechanický rotační snímač
S1	MENU	P-B1729	Mikrospínač
S2	ESC	P-B1729	Mikrospínač
S3	START	P-B1729	Mikrospínač
S4	STOP	P-B1729	Mikrospínač

B.5 Seznam ostatních součástí

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	DS18B20Z	SO08	Snímač teploty
IC2	DS18B20Z	SO08	Snímač teploty
IC3	DS18B20Z	SO08	Snímač teploty
IC4	DS18B20Z	SO08	Snímač teploty
FAN1-1			Ventilátor 120 x 120 [mm]
FAN1-2			Ventilátor 120 x 120 [mm]
FAN2-1			Ventilátor 60 x 60 [mm]
FAN2-2			Ventilátor 60 x 60 [mm]
FAN3			Ventilátor 60 x 60 [mm]
FAN4			Ventilátor 40 x 40 [mm]
H1			Chladič CHL20B
H2			Chladič CHL20B

C Návod pro obsluhu teplotní komory



Obr. C.1: Pohled na čelní panel řídicí jednotky.



Obr. C.2: Pohled na zadní panel řídicí jednotky.

C.1 Význam jednotlivých prvků na čelním panelu

- 1 LCD displej 1.
- 2 LCD displej 2.
- 3 Signalizační LED.
- 4 Tlačítko MENU/ENT
- 5 Tlačítko ESC
- 6 Tlačítko START/CLEAR
- 7 Tlačítko STOP
- 8 Rotační mechanický snímač polohy
- 9 Konektor pro silové propojení s komorou
- 10 Konektor pro datové propojení s komorou
- 11 RJ-45 konektor pro připojení do sítě Ethernet

C.2 Význam jednotlivých prvků na zadním panelu

- 12 Hlavní vypínač
- 13 Napájecí vodiče
- 14 Ventilátor
- 15 Ventilátor

C.3 Význam jednotlivých LED

Rudá	Probíhá ohřev vnitřního prostoru komory
Zelená	Probíhá chlazení vnitřního prostoru komory
Žlutá	Probíhá proces, byla tedy dosažena požadovaná teplota

C.4 Standardní režim

Během standardního režimu se na LCD displeji 1 cyklicky zobrazují naměřené hodnoty teplot z jednotlivých senzorů a průměrná naměřená teplota. Na LCD displeji 2 se zobrazuje časový údaj o délce provozu komory. Na následujících obrázcích jsou uvedeny možnosti zobrazených informací (viz. obr. C.3 a obr. C.4).

Senzor 3 15,2 °C	Provoz 00:22:07
----------------------------	---------------------------

Obr. C.3: Standardní režim – příklad zobrazení teploty ze senzoru.

Prumer 15,6 °C	Provoz 00:22:10
---------------------------------	----------------------------------

Obr. C.4: Standardní režim – příklad zobrazení průměrné teploty.

Pokud se komora nachází v režimu zpracování požadovaného procesu (byla tedy docílena požadovaná teplota), zobrazuje se každých 10 sekund na LCD displeji 1 informace o čísle probíhajícího procesu a LCD displeji 2 se zobrazují parametry nastaveného procesu, tj. požadovaná teplota a čas do ukončení procesu (viz. obr. C5).

Proces c. 1	330 s. 10 °C
------------------------------	-------------------------------

Obr. C.5: Standardní režim – příklad zobrazení informací o probíhajícím procesu.

C.5 Konfigurační režim

Stiskem tlačítka *MENU* se na displejích zobrazí informace o spuštění konfiguračního režimu (viz. obr. C.6). Současně s tímto se rozsvítí všechny signalizační LED.

Menu komory	Zobraz procesy
------------------------------	---------------------------------

Obr. C.6: Konfigurační režim – příklad zobrazení informací o režimu zobrazování.

V konfiguračním režimu jsou k dispozici dvě nabídky. Jedná se o možnost zobrazení veškerých nastavených procesů (viz. obr. C.6) nebo provádět nastavení jednotlivých procesů (viz. obr. C.7). Pohyb mezi těmito dvěma nabídkami se provádí rotačním mechanickým snímačem polohy a volba se provede stisknutím tlačítka *ENT*.

Menu komory	Nastav procesy
------------------------------	---------------------------------

Obr. C.7: Konfigurační režim – příklad zobrazení informací o režimu nastavování.

Zobrazování jednotlivých procesů

Po vstoupení do nabídky zobrazování jednotlivých procesů, se na LCD displeji 1 zobrazí informace o pořadovém čísle procesu a na LCD displeji 2 se zobrazí parametry daného procesu (viz. obr. C.8). Listování mezi jednotlivými procesy je zajištěno rotačním mechanickým snímačem polohy. Pro opuštění této nabídky je zapotřebí stisknout tlačítko *ESC*.

Proces c. 23	3300 s. 47 °C
-------------------------------	--------------------------------

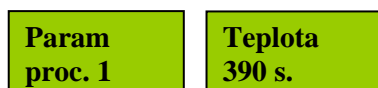
Obr. C.8: Konfigurační režim – příklad zobrazení parametrů procesu.

Nastavení jednotlivých procesů

Pokud se nacházíte v základní nabídce (viz. obr. C.6) použijte rotační snímač k přechodu na nabídku nastavení jednotlivých procesů (viz. obr. C.7) a stiskněte tlačítko *ENT*. Na LCD displeji 1 zobrazí informace o pořadovém čísle procesu a na LCD displeji 2 se zobrazí parametry daného procesu (viz. obr. C.5). Otočným snímačem polohy zvolte požadovaný proces a stiskněte tlačítko *ENT*. Na LCD displeji 1 se zobrazí informace o pořadovém čísle procesu a na LCD displeji 2 se zobrazí informace o nastavené době trvání procesu (viz. obr. C.9). Otočným snímačem polohy nastavte požadovanou dobu (v krocích po 10 sekundách) a stiskněte tlačítko *ENT*. Tím přejdete do nastavení teploty procesu (viz. obr. C.10). Opět použijte otočný snímač polohy pro nastavení požadované teploty (v krocích po 1 °C) a stiskněte tlačítko *ENT*. Tímto dojde k uložení parametrů procesu do paměti mikrokontroléru. Pokud během nastavování času nebo teploty stisknete tlačítko *CLEAR*, dojde k nastavení zvoleného parametru do tovární hodnoty 0.



Obr. C.9: Konfigurační režim – příklad nastavení času procesu.



Obr. C.10: Konfigurační režim – příklad nastavení teplota procesu.



Rozsah hodnot pro nastavení času je od 0 sekund až po 65535 sekund a teplot v rozsahu od -20 °C do 80 °C. Počet nastavitelných procesů je 100.

Pro ukončení konfiguračního režimu stiskněte opakovaně tlačítko *ESC*. Komora přejde do standardního režimu a všechny signalizační LED pohasnou.

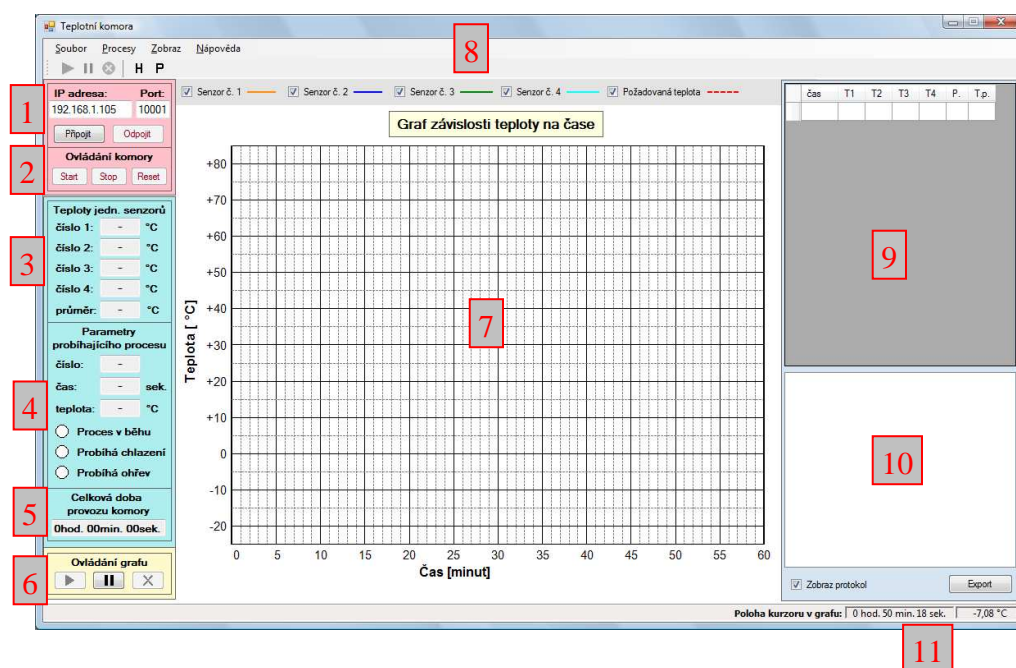
C.6 Spuštění a zastavení procesu

Pokud jsou procesy v komoře naprogramovány, stisknutí tlačítka *START* dojde k zahájení ohřevu/chlazení vnitřního prostoru komory na požadovanou teplotu. Současně s tím dojde k vynulování času provozu, spuštění ventilátorů umístěných na chladiči komory a aktivování příslušných LED. Po dokončení procesu (po dosažení požadované teploty a uplynutí přednastaveného času) přejde komora automaticky na další proces. Pokud ale tento proces nemá nastavený čas, dojde k zastavení komory. Komoru můžete také zastavit tlačítkem *STOP*.

D Návod pro obsluhu aplikačního programu PRO PC

D.1 Hlavní okno

Hlavní okno aplikace se obecně skládá ze čtyř základních částí. Levá část obrazovky obsahuje několik tlačítek a textových oken (polí). Tlačítka slouží pro připojení programu k teplotní komoře, odpojení programu od komory, spuštění a zastavení procesů a k ovládání grafické části programu. Střední část obrazovky vykresluje teplotní průběhy procesů. Pravá část obrazovky obsahuje tabulku naměřených hodnot a textové pole zobrazující průběh komunikace mezi aplikací a teplotní komorou.



Obr. D.1: Pohled na hlavní okno aplikačního programu.

Připojení (1)

Nastavte parametry komunikace zadáním IP adresy (*IP adresa*) a čísla portu (*Port*). Stisknutím tlačítka *Připojit* se program pokusí připojit ke komoře. V případě neúspěšného připojení se na obrazovce zobrazí chybové hlášení o neúspěšném připojení. Překontrolujte parametry připojení a pokus opakujte. V případě úspěšného připojení program načte aktuální data z komory a pokud v komoře probíhá nějaký proces, zobrazí se obrazovce výzva, zda chcete proces ukončit nebo začít grafické zobrazování procesu.

Spuštění a zastavení procesů komory (2)

Význam jednotlivých tlačítek je následující:

Start Spuštění prvního procesu

Stop Zastavení všech procesů komory

Reset Resetování všech procesů komory – nastavení výchozích hodnot 0 s. a 0 °C

Teploty z jednotlivých senzorů (3)

V této části programu se zobrazují informace o naměřených hodnotách teplot z jednotlivých senzorů a informace o průměrné teplotě.

Parametry probíhajícího procesu (4)




V této části programu se zobrazují informace o probíhajícím procesu.

Celková doba provozu komory (5)

Informace o celkové době provozu komory.

Ovládání grafické části programu (6)

Tlačítka slouží pro ovládání grafické části programu. Slouží pro spuštění, pozastavení a resetování grafického zobrazování jednotlivých procesů. Tyto tlačítka jsou využívána pro detailní zobrazení grafu závislosti teploty na čase, který zobrazíte následujícím způsobem:

- Stiskněte tlačítko  a vyberte myší oblast, kterou chcete zobrazit (drag & drop).
- Stiskněte tlačítko  pro zrušení zobrazeného detailu,
- Stiskněte tlačítko  pro spuštění standardního grafického zobrazování.

Grafická část programu (7)

V této části programu se graficky zobrazuje závislost teploty na čase a nastavená teplota probíhajícího procesu.

Změna grafické části programu (8)

Tato část programu umožňuje povolit/zakázat zobrazování teploty z jednotlivých snímačů a současně změnit barvu jednotlivých průběhů.

Naměřená data (9)

Tabulka dat získaných z teplotní komory. Stisknutím tlačítka *Export* lze data vyexportovat do textového souboru.

Komunikace (10)

Okno obsahující průběh datové komunikace s komorou.

Poloha kurzoru (11)

V této části programu se zobrazují informace o poloze kurzoru myši.

D.2 Procesy

Samostatnou část programu jsou formuláře pro nastavování a zobrazování procesů teplotní komory. Zvolte *Procesy – Nastav* a zobrazí se tabulka s jednotlivými procesy (viz. obr. D.2).

Nastavení procesů

Čas: Teplota:

ID	Čas [s]	Teplota [°C]
1	14500	45
2	1200	-20
3	1450	80
4	14500	45
5	1200	-20
6	1450	80
7	14500	45
8	1200	-20
9	1450	80
10	14500	45
11	1200	-20
12	1450	80
13	14500	45

Obr. D.2: Pohled na formulář nastavení procesů.

Rozsah hodnot pro nastavení času je od 0 sekund až po 65535 sekund a teplot v rozsahu od -20 °C do 80 °C. Počet nastavitelných procesů je 100. Pro ukončení a uložení procesů stiskněte tlačítko *Uložit* a pokud jsou v tabulce jsou v tabulce zadány správné hodnoty, formulář se uzavře. V opačném případě se zobrazí chybová hláška a nesprávně nastavený proces se z tabulky odstraní. Stisknutím tlačítka *Načíst ze souboru* můžete načíst parametry jednotlivých procesů z souboru *.txt. Tento importní soubor musí být formátu: <čas><tab><teplota>.

Pokud jste připojeni ke komoře, volbou *Procesy – Pošli do komory* přenesete nastavené procesy do komory, volbou *Procesy – Načti z komory* si můžete parametry procesů z komory načíst.

Obsah přiloženého CD nosiče

Elektronická verze diplomové práce

Projekt komory v programu Eagle

Projekt Microsoft Visual Studio 2008 aplikačního programu

Projekt AVR Studio 5 firmwaru mikrokontroléru